Aus der Universitätsklinik für
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Tübingen
Abteilung Poliklinik für
Zahnärztliche Prothetik II mit Propädeutik
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. H. Weber

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUR SPALTKORROSION UND SPALTFREIEN KORROSION VON DENTALLEGIERUNGEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

vorgelegt von

REINHOLD BISCHOF
aus Ehingen/Do.

1987

UNIV.
LEIDEN
1921

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543904_0099

Aus der Universitätsklinik für
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Tübingen
Abteilung Poliklinik für
Zahnärztliche Prothetik II mit Propädeutik
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. H. Weber

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUR SPALTKORROSION UND SPALTFREIEN KORROSION VON DENTALLEGIERUNGEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

vorgelegt von

REINHOLD BISCHOF
aus Ehingen/Do.

1987

Dekan: Prof.Dr.J.Dichgans

1. Berichterstatter: Prof.Dr.H.Weber

2. Berichterstatter: Priv.Doz.Dr.W.B.Freesmeyer

DANKSAGUNG

Bedanken möchte ich mich bei H.Prof.Dr.H.Weber für die freundliche überlassung des Themas, bei seinen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen, insbesonders bei H.Dipl.Ing.Geis-Gerstorfer für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Versuche und bei Gabriele W. für die Geduld und Ermutigung.

0. Inhalt 1

1.Einleitung 4
1.1. Kriterien der Werkstoffauswahl 4
1.2. Dentallegierungssituation 4
1.3. Biologische Wechselwirkungen der Dentallegierungen 5
1.4. In vitro Versuche zur Korrosion von Dentallegierungen 6

2. Theoretische Grundlagen 7
2.1. Begriffsbestimmungen zur Korrosion 7
2.1.1. Grundbegriffe 7
2.1.2. Korrosionsarten 7
2.2. Thermodynamik 7
2.3. Elektrolytische Phasengrenzreaktionen 8
2.3.0. Potentiale 8
2.3.0.1. Standardpotentiale 8
2.3.0.2. Korrosionspotentiale 9
2.3.0.3. Redoxpotentiale 9
2.3.1. Stromspannungskurven 10
2.3.2. Die kathodische Wasserstoffabscheidung 10
2.3.3. Die kathodische Sauerstoffreduktion 11
2.3.3.1. Einfluß von Sauerstoff und Hydroniumionen auf eine Zellspannung 11
2.3.4. Die anodische Metallauflösung 12
2.4. Faktoren der Korrosionsgeschwindigkeit 12
2.4.1. Metalleigenschaften 12
2.4.2. Elektrolyteigenschaften 13
2.4.3. Die Anordnung des Metalles im Elektrolyt 14
2.5. Belüftungselement/Spaltkorrosion 14
2.5.1. Diffusion 15
2.5.2. Evanscher Tropfenversuch 15
2.5.3. Verlauf der Spaltkorrosion 15

3. Problemdarstellung 17

4. Ziele der Arbeit 18

5. Material und Methode 19
5.1. Material 19
5.1.1. Die Dentallegierungsproben 19
5.1.1.1. Die Vorbereitung der Proben 19
5.1.1.2. Die Aufbereitung der Proben 20

5.1.1.3. Wägungen 20
5.1.3. Elektrolyt 21
5.1.4. Weitere Hilfsmittel 21
5.2. Methode 22
5.2.1. Spaltfreier Test 22
5.2.2. Spaltkorrosionstest 22
5.3. Wertefindung 23
5.3.1. Werteverrechnung 24
5.3.2. Graphische Auswertung 25

6. Ergebnisse 26
6.1. Die Massenänderungen der einzelnen Legierungen im Vergleich 26
6.1.1. Die w-,x-,y-,z-Werte im Vergleich 26
6.1.2.1. Vergleich der y- zu den x-Werten 26
6.1.2.2. Vergleich der y- zu den z-Werten 26
6.1.2.3. Vergleich der w- zu den x-Werten 26
6.2. Der Vergleich der Legierungen untereinander mittels der Massenänderungen pro Fläche 26
6.2.1. Die Differenzierungen im spaltfreien Test 27
6.2.2. Die Differenzierungen im Spaltkorrosionstest 28
6.2.3. Die Betrachtung der Legierungsgruppen 28
6.2.4. Ultratek mit und ohne Lunker im Vergleich 29

7. Diskussion 30
7.1. Die Messung der pH-Werte 30
7.2. Optische Kontrollen 30
7.3. Wägegenauigkeit 30
7.4. Die Bedeutung der w-,x-,y- und z-Werte 30
7.5. Der spaltfreie und Spaltkorrosionstest im Vergleich 31
7.5.1. Wertestreuung 31
7.5.2. Lage der Durchschnittswerte 32
7.5.3. Testverbesserungen 33
7.6. NEM-Legierungen 33
7.6.1. Co-Cr-Legierungen 33
7.6.3. Ni-Cr-Legierungen 33
7.6.4. Legierungen mit Ag>10% 35
7.6.5. Palladium-Legierungen 37
7.6.6. Legierungen mit 80%<Au/Pt-Me<95% 37
7.6.7. Legierungen mit Au/Pt-Me>95% 38
7.6.8. Betrachtung der edelmetallhaltigen Legierungen 38
7.6.9. Vergleich der NEM-Legierungen mit den edelmetallhaltigen Legierungen 38

8. Zusammenfassung 40

Tabellen:
Legierungszusammensetzungen I.-III. 42
Legierungspreise IV.-VI. 45

Legende zu den Meßwerttabellen 0. 47
Meßwerte des spaltfreien Tests 1.-10. 48
Meßwerte des Spaltkorrosionstests 11.-20. 58

Graphik der Dickenabnahmen 21.-24. 68
Graphik der Massenänderungen pro Fläche 25.-29. 72

Schema der Versuchsanordnungen 29. 76

Literaturverzeichnis 77

1. Einleitung

1.1. Kriterien der Werkstoffauswahl

In der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde wird eine Vielzahl von Werkstoffen verwendet. Diese gelangen dabei mehr oder weniger intensiv über kurze oder längere Zeit in das biologische Milieu Mundhöhle. Das Anforderungsprofil an die einzelnen Werkstoffe wird von den physikalisch / chemischen Zwecken und der Biokompatibilität bestimmt.

Die Auswahl von Werkstoffen erfolgt nach diesen Kriterien:

- Verfügbarkeit
- biologische Verträglichkeit
- Beständigkeit physikalisch / chemisch
- Bearbeitbarkeit
- Ästhetik
- Preis [25]

Die Wertigkeit der Kriterien kann unterschiedlich sein.

1.2. Dentallegierungssituation

1979 wurden in der westlichen Welt 87t Gold für Dentalzwecke verbraucht, das entsprach 6,6% der gesamten Goldverarbeitung. [45]

Bezieht man den Feingoldverbrauch in der Zahnmedizin von 1972 bis 1983 auf die Bevölkerungszahlen unterschiedlicher Industrienationen, nimmt die BRD eine Spitzenposition ein: Pro Kopf der Bevölkerung wurden 1972 0,18g Gold und 1982 0,28g Gold verbraucht. Dies ergab 1972 16,8% und 1982 34,6% des Weltfeingoldverbrauchs. Daraus geht hervor, daß weltweit nicht hochgoldhaltige Legierungen für Zahnersatz verwendet wurden und werden. [6,16,17,18,67]

Erstmalig seit dem 24.6.81 sind in der BRD Dentallegierungen jeder Zusammensetzung zugelassen. Die Änderung der Richtlinien für eine ausreichende, zweckmäßige und wirtschaftliche kassenzahnärztliche Versorgung mit Zahnersatz und Zahnkronen legt die Verwendung sogenannter edelmetallreduzierter Legierungen nahe. Es können auch edelmetallfreie Legierungen verarbeitet werden, wenn dies der Zahnarzt für angezeigt hält. [Bundesanzeiger Nr.192,41]

Edelmetallreduzierte Vollgußlegierungen sollen zwischen 75% und 60% an Gold und Platinmetallen enthalten, bei einem Goldgehalt von mindestens 50%. Für die Aufbrennkeramik sollen

Legierungen von weniger als 95%, aber nicht weniger als 75% an Gold und Platinmetallen verarbeitet werden. [18] Diese Richtlinien wurden 1986 nivelliert. Danach stellt die Verwendung von Palladium-Basis- und NEM-Legierungen zukünftig die Regelversorgung dar.

Exemplarisch sind in Tabelle IV., V. und VI. die Preise für die getesteten Legierungen aufgeführt, soweit sie von den Herstellerfirmen mitgeteilt wurden. [87,88,89,90,91,92,93]

Infolgedessen wurden in der BRD zu ungefähr 72% die empfohlenen edelmetallreduzierten Legierungen verwandt, während der Verbrauch hochgoldhaltiger auf ca.27% fiel. Die Verwendung von nicht edelmetallhaltigen Legierungen für die Kronen- und Brückentechnik wird auf 8% geschätzt. [18,67,75]

Was die Korrosionsbeständigkeit und Biokompatibilität anbelangt, herrscht diesbezüglich ein großes Forschungsdefizit vor. [4,15,41,42] Durch die Zulassung neuer Legierungen ohne vorhergehende vergleichende Tests wurde der für die Erprobung neuer Materialien letzte Schritt, der klinische Großversuch, allen anderen vorweg genommen. [1,34]

Beim Einsatz von edelmetallfreien Legierungen in der zahnärztlichen Prothetik spielen neben einer möglichen Beeinträchtigung der Ästhetik und Funktion des Zahnersatzes eventuelle allergische Reaktionen eine Rolle. [7,17,19,20,43,48,58]

Auch bei edelmetallhaltigen Legierungen können Unverträglichkeiten und Gingivaverfärbungen festgestellt werden. [23,26,32,33, 34,50,68,83,84] Gingivaverfärbungen können durch Fräßpartikel verursacht sein. [21]

1.3. Biologische Wechselwirkungen der Dentallegierungen

Dentallegierungen enthalten bis zu 14 Komponenten, die sich in legiertem Zustand physikalisch und chemisch anderst verhalten als in reiner Form. Daraus folgt, daß ihr biologisches Verhalten gesondert untersucht werden muß. Je nach Aufnahmeweg, Aufnahmemodus, Zeit und biologischer Wechselwirkung ist die Toxizität, die Allergenität und die Mutagenität zu betrachten.

Der Grad der Wechselwirkungen hängt ab von

- der Menge pro Zeit (kontinuierlich, wiederholt,einmalig)
- dem Zuführungsweg (Schleimhaut interstitiell oder/und intravasal, intestinal)
- der Zufuhrform (Partikelgrößen, metallisch, ionisiert, passiviert, physikalisch oder chemisch gebunden).
- den Reaktionsmöglichkeiten entsprechender Gewebe (Abstoßung, Einkapselung, Ablagerung, Abtransport)

- der Reaktionslage des gesamten Organismus (Bindungs- und Ausscheidungsvermögen, Antigenreaktionen) 15,[31,43,56,71]

Krank machen kann nur das, was für den Organismus ungünstigerweise in biologische Funktionsabläufe eingreift. [28]

Das korrosionschemische Verhalten ist für die chemische Widerstandsfähigkeit und Gewebeverträglichkeit maßgebend. [52,54, 55,85] Dies wird im Wesentlichen durch zwei Legierungseigenschaften bestimmt, durch den mehr oder weniger edlen Charakter und durch die mehr oder weniger ausgeprägte Neigung zur Passivierung. [29,71,86]

1.4. In vitro Versuche zur Korrosion von Dentallegierungen

In einer Testanordnung, in der der Elektrolyt nicht kontinuierlich erneuert wird, besteht die Tendenz zur Einstellung eines dynamischen Gleichgewichtes. Dabei nimmt die Korrosionsrate mit zunehmender Testdauer ab. [55]

Durch die Mundhöhle fließen pro Tag 1,5l Speichel und 1,3l Getränke mit einem pH bis zu 2,5 bei Cola. [69,74] Eine Gleichgewichtseinstellung ist nicht denkbar.

In der Plaque werden Ameisen-, Essig-, Propion-, Butter- und Milchsäure gebildet. In ihr kann der pH-Wert über Stunden im Bereich von 4 liegen. [13,27,44,49]

Wegen der für wissenschaftliche Zwecke geforderten Reproduzierbarkeit von Meßergebnissen muß ein Testelektrolyt bekannt sein. Die Bestandteile des Mundhöhlenmilieus sind schwer reproduzierbar. [13,63,65,66,69]

Für Korrosionstests wurden unterschiedliche Speichelersatzlösungen vorgeschlagen. [17,22,24,35,36,47,51,57,59,63,70,74,77,83] Deren Zusammensetzungen entsprechen nicht unbedingt menschlichen Körperflüssigkeiten, sondern sind Kompromisse, um

- durch den Test überhaupt Differenzierungen messbarer Größenordnungen zu erhalten,
- die Testzeiten in sinnvollen Rahmen zu halten und
- für die klinische Prognostik brauchbare Daten zu erhalten. [34,83]

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Begriffsbestimmungen zur Korrosion

2.1.1. Grundbegriffe

Korrosion ist definiert als die Reaktion eines metallischen Werkstoffes mit seiner Umgebung, die eine meßbare Veränderung des Werkstoffes bewirkt und zu einem Korrosionsschaden führen kann. Diese Reaktion ist in den meisten Fällen elektrochemischer (elektrolytischer [39,S.2]) Art. Es kann sich auch um chemische oder um metallphysikalische Vorgänge handeln. Werkstoffänderungen durch ausschließlich mechanische Einwirkungen sind nicht Gegenstand dieser Norm.

Korrosives Mittel ist die Umgebung, die auf den Werkstoff einwirkt und Korrosion verursacht. [10]

2.1.2. Korrosionsarten

Gleichmäßige Flächenkorrosion ist eine Korrosion mit nahezu gleichem Abtrag auf der gesamten Oberfläche.

Lochkorrosion ist eine Korrosion, die nur an kleinen Oberflächenbereichen ($<0{,}01 mm^2$ abläuft und Lochfraß erzeugt. Die Ursache ist das Vorliegen von Korrosionselementen.

Korrosion durch unterschiedliche Belüftung ist eine örtliche Korrosion durch Ausbildung eines Korrosionselementes bei unterschiedlicher Belüftung, wobei die weniger belüfteten Bereiche mit erhöhter Geschwindigkeit abgetragen werden. Zu dieser Korrosionsart kann auch die Spaltkorrosion gezählt werden.

Spaltkorrosion ist eine örtlich verstärkte Korrosion in Spalten. Sie ist auf Korrosionselemente zurückzuführen, die durch Konzentrationsunterschiede im korrosiven Mittel verursacht sind. [10,83]

2.2. Thermodynamik

Es gelten für Korrosionsreaktionen die Gesetze der Thermodynamik:

$$\Delta G = \Delta H - T \times \Delta S$$

(ΔG freie molare Reaktionsenthalpie, ΔH Reaktionsenthalpie, T absolute Temperatur, ΔS Reaktionsentropie)

Bei konstantem Druck und konstanter Temperatur gilt:
Wird ΔG gleich 0, liegt ein Gleichgewichtszustand vor. Wird ΔG kleiner 0, kann die Reaktion spontan ablaufen. Für deren Umkehrung hat ΔG den selben positiven Betrag.

Bei Reaktionen wie denen der Korrosion, an der mehrere Phasen beteiligt sind, kann ΔG zeitlich konstant bleiben, wenn sich die Zusammensetzung der Phasen während der Reaktion nicht ändert. [39,S.11]

2.3. Elektrolytische Phasengrenzreaktionen

In diesem Rahmen interessieren elektrolytische Korrosionsreaktionen, die sich an den Phasengrenzen Elektrolyt/Metall in einem elektrisch leitenden System abspielen. Metall wird oxidiert, anodische Reaktion genannt, und Elektrolytbestandteil reduziert, kathodische Reaktion genannt. Die Oxidationsmittel sind bei dem angewendeten Elektrolyten Wasserstoffionen und / oder Sauerstoff: [39,83]

a) $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$

b) $4H^+ + 4e + O_2 \rightarrow 2H_2O$

c) $2H_2O + 4e + O_2 \rightarrow 4OH^-$

Welche der kathodischen Reaktionen ablaufen, hängt vom pH-Wert, dem Metall und weiteren Bedingungen ab.[25,76,83]
Die anodische Metallauflösung erfolgt nach dieser Gleichung:

d) $Me \rightarrow Me^{z+} + ze$

Durch Elektronenüberschuß oder -unterschuß eines Körpers gegenüber seiner Umgebung treten Potentiale auf. Das elektrische Potential an der Phasengrenzfläche hängt ab von dem Lösungsbestreben des Metalls, der Temperatur und der Aktivität der Lösung. [14,55]

2.3.0. Potentiale

2.3.0.1. Standardpotentiale

Das Potential von Wasserstoff mit dem Druck 1 at in 1 aktiver Wasserstoffionenlösung nach Gleichgewichtseinstellung ist Bezugspunkt für die Standardpotentiale anderer Stoffe, ermittelt durch Gleichgewichtseinstellung in ihrer 1 aktiven Ionenlösung und wird Eo = 0V gesetzt. Metalle mit einem Standardpotential <0V sind unedel, die mit einem Standardpotential >0V edel. Die Auflistung ergibt die elektrochemische Spannungsreihe. [46,55]
Standardpotentiale gehen als Eo in die Nernstsche Gleichung ein:

$$E = Eo + \frac{RT}{zF} \times \ln c$$

(E zu berechnendes Potential im Gleichgewicht, Eo betreffendes Standardpotential, R allgemeine Gaskonstante, T Temperatur, z

Anzahl der beteiligten Elektronen (=Oxidationsstufen), c Konzentration) [38,S.168]

2.3.0.2. Korrosionspotentiale

Die Potentiale von Metallen in umschriebenen Elektrolyten unter umschriebenen Bedingungen werden Korrosionspotentiale genannt. Ihre Auflistung bezogen auf definierte Korrosionsbedingungen ergibt die praktischen Spannungsreihen. In sie gehen Faktoren der Reaktionskinetik mit ein, die das Verhalten eines Metalles bezogen auf das Standardpotential wesentlich verändern können. So sind Korrosionspotentiale von Metallen, die sich mit Oxidschichten passivieren in sauerstoffhaltigen Elektrolyten weit edler, als es ihren Standardpotentialen entspricht. Andererseits können Komplexbildner Edelmetalle weit unedler erscheinen lassen. [39]

2.3.0.3. Redoxpotentiale

Das Oxidationsvermögen eines Oxidationsmittels hängt in gleicher Weise von den Konzentrationsverhältnissen aller an der Umsetzung beteiligten Teilchen ab, wie das Potential eines Metalls von der Ionenkonzentration der Lösung.
Für Redoxpotentiale gilt bei folgender Reaktionsbruttogleichung:

$$aA + bB + ze \leftrightarrow yY + xX$$

$$E = E_o + \frac{RT}{zF} \times \ln A^{a} \times B^{b} \times Y^{-y} \times X^{-x}$$

[38,S.169]

Für T = 310,15K = 37°C ist $RT \times F^{-1} \times \ln N = 0{,}0615 \times \lg N$ [14,S.89]

Für Gleichung (3.3.a) $2H^{+} + 2e \leftrightarrow H_2$ gilt bei PH_2=1atm:

$$E = 0 + \frac{RT}{2F} \times \ln H^{+}/PH_2$$

$$E = -0{,}0615 \times pH$$

Für Gleichung (3.3.b) $4H^{+} + 4e + O_2 \leftrightarrow 2H_2O$ gilt bei PO_2=0,2atm:

$$E = 1{,}229 + \frac{0{,}0615}{4} \times (-0{,}69) + 0{,}059pH = 1{,}218 + 0{,}059pH$$

Für Gleichung (3.3.c) $2H_2O + 4e + O_2 \Leftrightarrow 4OH^-$ bei PO_2=0,2atm gilt:

$$E = 0{,}401 + \frac{0{,}0615}{4} \times (-0{,}69) + 0{,}0615(pH-14)$$

$$E = 0{,}390 + 0{,}0615(pH-14)$$

Ein gewisser Fehler ergibt sich dabei daraus, daß die Werte der Standardpotentiale auf eine Temperatur von 25°C bezogen sind. [14,30]

2.3.1. Stromspannungskurven

Das elektrische Verhalten einer Elektrode (ein Metall in einem Elektrolyten), an die über eine variable Spannungsquelle eine Bezugselektrode geschaltet ist, kann als Stromspannungskurve aufgezeichnet werden. Stromspannungskurven geben u.a. Aufschluß über Passivierungspotentiale, Aktivierungspotentiale und Durchbruchspotentiale. . [10,39,S.106,55,83]

2.3.2. Die kathodische Wasserstoffabscheidung

Der erste Teilschritt ist die vorgelagerte Transportreaktion (=Diffusionsreaktion) in der Hydroniumionen aus dem Lösungsinnern zur Metalloberfläche befördert werden. Geschwindigkeitsbestimmend für die Reaktion ist die H^+-Konzentration und die Grenzschichtdicke. Sie kann durch pH-Erniedrigung und Umrühren des Elektrolyten beschleunigt werden.

Aus dem Metall tritt elektrische Ladung durch die Phasengrenze und entlädt das Hydroniumion zu atomarem Wasserstoff, der an der Metalloberfläche adsorbiert wird. Dies wird Durchtrittsreaktion der kathodischen Wasserstoffabscheidung genannt. Die Geschwindigkeit ist abhängig vom System. Sofern nicht Diffusion eine merkliche Rolle spielt, bestimmt die Durchtrittsreaktion die Gesamtgeschwindigkeit der kathodischen Wasserstoffabscheidung. [39,S.89]

Das adsorbierte Wasserstoffatom kann mit einem weiteren zu molekularem Wasserstoff reagieren (Tafelreaktion) oder mit einem Hydroniumion einen Reaktionskomplex bilden, der durch Aufnahme eines Elektrons zu molekularem Wasserstoff reagiert (Heyrovsky-reaktion).

In beiden Fällen folgt der Übergang der Wasserstoffmolekeln in die Gasphase. Dies kann mit Blasenbildung nach Diffusion an bestimmte Stellen und Desorption einhergehen oder über die Lösung im Elektrolyten und Diffusion zur Phasengrenze Luft /

Elektrolyt oder atomarer Wasserstoff löst sich im Metall, was zur Wasserstoffversprödung führen kann. [39]

2.3.3. Die kathodische Sauerstoffreduktion

Thermodynamisch betrachtet sind die Gleichungen 3.3.b) und 3.3.c) identisch. Im sauren Bereich ist Reaktion b) wahrscheinlicher als c). [83]

Der ungeladene Sauerstoff gelangt allein durch Diffusion an die Grenzfläche. . Für die Sauerstoffreduktion ist in den meisten Fällen die Diffusion geschwindigkeitsbestimmend. [39,S.74]

Für saure Lösungen gilt:

$$O_2 + 2H_3O^+ + 2e \rightarrow H_2O_2 + 2H_2O$$
$$H_2O_2 + 2H_3O^+ + 2e \rightarrow 4H_2O \qquad [39,S.101]$$

2.3.3.1. Einfluß von Sauerstoff und Hydroniumionen auf eine Zellspannung

Sauerstoff vergrößert die Zellspannung und damit die thermodynamische treibende Kraft der Metallauflösung. Das Gleichgewichtselektrodenpotential der Sauerstoffelektrode ergibt sich anhand der Bruttoreaktion:

$O_{2(Gasphase)} + 4H^+_{(Elektrolyt)} + 4e_{(Metall)} \Leftrightarrow 2H_2O_{(Elektrolyt)}$

und der Nernstschen Gleichung:

$E(O_2/H^+) = Eo + RT/F \times \ln a(H^+) - RT/4F \times \ln PO_2$

Eo ist die Standardzellspannung der Knallgaskette +1,229 V. Im Gleichgewicht mit dem Sauerstoffgehalt der Luft gilt:

$E(O_2/H^+) = +1{,}21 + RT/F \times \ln a(H^+) \times [V]$

Als praktisch frei von Metallionen soll eine Lösung von 10^{-6} mol/l Me^z bezeichnet werden. Der Sauerstoffdruck sei 0,2atm und die Aktivität $a(H^+)=10^{-7}$:

$$U = E(Me/Me^{z+}) - E(O_2/H^+)$$
$$U = E(Me/Me^{z+}) + 0{,}059/z \times \log 10^{-6} - 1{,}21 - 0{,}059 \times \log 10^{-7} \times [V]$$

Also vergrößert sich die Gleichgewichts-Zellspannung U zwischen einem Metall und einer Platinelektrode in neutraler Lösung und dem Druck für Wasserstoff von 1atm um 1,21V, wenn man bei konstanter Acidität von sauerstofffreier zu luftgesättigter Lösung übergeht. Handelt es sich um eine Lösung mit einer H^+-Aktivität von 1 erhöht sich die Spannung um den Betrag von 0,413V, so daß nur noch Au/Au^+ thermodynamisch stabil ist. [39,S.33] Der Zusammenhang der Leerlaufspannung U (=-EMK

(Elektromotorische Kraft)) mit der Änderung der freien Enthalpie ΔG ist:

$$\Delta G = U \times F \times z \qquad [46,S.257,39,S.28]$$

2.3.4. Die anodische Metallauflösung

In der Praxis hat man es durchweg mit polykristallinen festen Metallen zu tun, deren Oberflächen von Korngrenzen, Bändern stark gestörter Metallstruktur, durchzogen sind. Verunreinigungen erzeugen in Kristalliten Störstellen. Bearbeitungsspuren und Durchstoßpunkte von Schraubenversetzungen sollen als Stellen schnellerer Löslichkeit eine Rolle spielen. Handelt es sich makroskopisch um gleichmäßige Korrosion, wird vereinfachend eine vollkommen unregelmäßige örtliche und zeitliche Verteilung von Abbaustellen auf der Metalloberfläche angenommen.

Ein Gitteratom gelangt durch den Abbau benachbarter Atome in Halbkristallage, in der es nur noch mit halber Gitterenergie gebunden ist. Von dort geht es in die Adsorptionsschicht, in der es beweglich ist, über. Durch Elektronenabgabe wird es ionisiert und wird von der Metalloberfläche in die Lösung transportiert. Es kann unter Wiederabscheidungs-, Oberflächendiffusions- und Volumendiffusionsmechanismen unterschieden werden. [39,S.103,40]

2.4. Faktoren der Korrosionsgeschwindigkeit

Es zeigt sich in der Praxis, daß chemische Reaktionen, die nach den Gesetzen der Thermodynamik spontan ablaufen können, nicht immer spontan oder nur sehr langsam ablaufen.
Es gilt das Gesetz von Arrhenius:

$$k = A \times e^{-EA/RT}$$

(k Geschwindigkeitskonstante, A ist ein weitgehend temperaturabhängiger Proportionalitätsfaktor, EA Aktivierungsenergie, R Allgemeine Gaskonstante, T Temperatur)
Je höher die Temperatur und je kleiner die Aktivierungsenergie ist, desto schneller läuft die Reaktion ab.[46]

2.4.1. Metalleigenschaften

a) Inhomogenitäten der Oberflächen sind bevorzugte Angriffspunkte. [5,15,39,S.104&105]
b) Passive Oberflächen, zum Beispiel durch Anlagerung von Sauerstoff in Form von Oxiden oder Adsorption, können Korrosionsreaktionen erheblich behindern. Den Metallatomen ist der

Durchtritt erschwert, die elektrische Leitfähigkeit kann vermindert sein. [55,39,S.178&179]

c) Schutzschichten, die aus dem Elektrolyten und Reaktionsprodukten auf der Oberfläche des Metalles lagern, können Korrosionsreaktionen zum Stillstand bringen. [39,S.158]

2.4.2. Elektrolyteigenschaften

a) Die Menge im Überschuß verhindert eine Gleichgewichtseinstellung. [55]

b) Umwälzung des Elektrolyten verringert die Diffusionsstrekken durch die Grenzphase. Ist die Diffusion eine geschwindigkeitsbestimmende Reaktion, wird durch Umrühren die Korrosion beschleunigt, ebenso, wenn die Gleichgewichtseinstellung durch Ansammlung von Reaktionsprodukten in der Grenzphase die Korrosion verlangsamen würde. [39,71]

c) Nicht passivierende Inhibitoren wie Elektrolytfilminhibitoren (Kolloide u.a.) erhöhen die Viskosität der Grenzschicht. Adsorptionsinhibitoren (organische Schwefel- und Stickstoffverbindungen u.a.) bremsen die Korrosion durch Anlagerung. [39,S.159]

d) Katalysatoren beschleunigen. Passive Oxidbildner werden in Anwesenheit von Halogenidionen, besonders Chlorid, oft in Form von Lochfraß, angegriffen. Die elektrische Leitfähigkeit einer Aluminiumoxidschicht wird durch Benetzung mit Chloridlösungen erhöht. In der Initialphase sollen Chloridionen an Oberflächeninhomogenitäten Ketten durch die Passivschicht bilden, längs derer Metallionen zum Elektrolyt wandern können. Dadurch kommt es zu einer Vertiefung unter der Oxidschicht, die gedehnt wird und eine Mulde bildet. In der Umgebung der Dehnung bilden sich neue Inhomogenitäten. So kann ein Lochkeim entstehen. Stationäres Lochwachstum beginnt, wenn die veränderte Elektrolytzusammensetzung im Lochinnern den Passivfilm ablöst. [39,S.252]

Hydroxylionen können die Wirkung von Chloriden Schwächen. [39,S.274] Sie können auch (am Beispiel des Eisens durch Adsorption) Korrosionsreaktionen beschleunigen. [39,S.116] Dann werden sie, wenn sie während der Korrosion auf Seiten der Reaktionsprodukte entstehen, Autokatalysatoren genannt. [46,S.266]

e) Komplexbildner und Bildner schwerlöslicher Salze können Metallionen binden, wodurch sie der Korrosionsrückreaktion und damit der Gleichgewichtseinstellung entzogen werden. [39,S.42]

f) Druck und Temperatur bestimmen die Löslichkeit von an den Reaktionen beteiligten Gasen. [46]

g) Sauerstoff ermöglicht kathodische Reaktionen neben der Wasserstoffabscheidung. Durch Spaltbildung kommt ein Belüftungselement zustande. Im Spalt ist die Repassivierung mittels Sauerstoff verhindert, in ihm herrschen ähnliche Bedingungen wie im Loch des Lochfraßes, andererseits können an der belüfteten Fläche kathodische Reaktionen mit Sauerstoff stattfinden. Die Sauerstoffkonzentration sinkt bei zunehmender Salzkonzentration, zunehmender Temperatur und fallendem Druck.
h) Wasserstoffionen fördern mit zunehmender Konzentration (kleinerem pH-Wert) Korrosionsreaktionen, an denen sie zu Wasserstoff reduziert werden und können die Bildung schützender hydroxidischer und oxidischer Niederschläge verhindern.
Bsp.: $2zMe^{+} + 2zOH^{-} \rightarrow 2zMeOH$

$2zMeOH \rightarrow zMe_2O + zH_2O$

Ein Überschuß an H^{+} reagiert mit OH^{-} zu Wasser.
Das Löslichkeitsprodukt $K = cFe^{3+} \times c^3OH^{-}$ wird bei 20°C mit $1{,}1\times10^{-36}(Mol/l)^4$ angegeben. Ab dieser Konzentration bilden sich Niederschläge von $Fe(OH)_3$.

$$\text{Es gilt: } cFe^{3+} = \frac{1{,}1\times10^{-36}}{10^{3(-14+pH)}} \text{ Mol/l}$$

Für pH 7 ist $cFe^{3+}=1.1\times10^{-15}$Mol/l
Für pH 2,3 ist $cFe^{3+} = 1{,}39\times10^{-7}$Mol/l
Mit zunehmendem pH-Wert wird bei kleinerem cFe^{3+} das Löslichkeitsprodukt für $Fe(OH)_3$ überschritten und Niederschlag gebildet. [46,S.278]

2.4.3. Die Anordnung des Metalles im Elektrolyt

Die Lage des Metalles zum Elektrolytbehälter kann zur Spaltenbildung führen, wodurch Belüftung, Konvektion und Diffusion behindert sind. Dies führt zu Konzentrationsunterschieden im Elektrolyt, also zur Ausbildung eines Korrosionselementes. [17]

2.5. Belüftungselement / Spaltkorrosion

Ein Spalt ist dadurch gekennzeichnet, daß in ihn Konvektion und Diffusion behindert sind. Es entsteht ein Konzentrationselement. Dessen Spezialfall ist ein Belüftungselement.[10] Für den Spalt gibt es keine festgelegten Maßzahlen. Aus einer bestimmten Anordnung unter Einbezug bisheriger Beobachtungen wird, gewissermaßen retrospektiv, ergründet, ob die Bedingungen für Spaltkorrosion gegeben sind. Die chemischen Prozesse bei Spaltkorrosion und Lochfraß sind die gleichen. Lochfraß kommt

durch Oberflächeninhomogenitäten zustande, Spaltkorrosion durch die Konstruktion.

2.5.1. Diffusion

Für die Diffusion gilt, daß das Quadrat der Diffusionsgeschwindigkeit zur Masse der Teilchen umgekehrt proportional ist.

$V^2 \propto 1/M$

Die Molmassen sind für Sauerstoff 32, für Chlorid 35,5, für Hydronium 1, für Hydroxid 19. [62] Hierbei blieb die Hydratation unberücksichtigt. Geladene Teilchen werden in elektrischen Feldern beschleunigt. Chlorid, Hydroxid und Hydronium sind geladen. Ihre Konzentration ist mit 1 Mol/l um ca.1000× höher als die des Sauerstoffs, der im Versuchselektrolyten günstigstenfalls mit 25,5ml/l gelöst ist. [8]
Die Zahl der in einen Raum diffundierenden Teilchen ist gleichsinnig abhängig von der Querschnittsfläche der Diffusionsstrecke.

2.5.2. Evanscher Tropfenversuch

Ein Tropfen einer mit Phenolphthalein und Kaliumferrocyanid versetzten 1/10n NaCl-Lösung wird auf ein waagrecht ruhendes Stahlblech gesetzt. Phenolphthalein zeigt alkalische Bereiche rot, Kaliumferocyanid FeII-Lösungen blau an. Kathodische Bezirke sind rot, anodische der FeII-Bildung blau gefärbt.

Erst sind die Bezirke vereinzelt verteilt, anodische bevorzugt über Schleifriefen. Später ergibt sich eine stationäre Verteilung. Im Zentrum liegt die Anode, darum ein Rostring und um diesen die Kathode.

Am Tropfenrand entsteht überschüssiges Hydroxid, das Rost bildet. Das Ausbleiben der Blaufärbung der Kathode beweist, daß sie als inerte Gaselektrode wirkt. Dies ist der experimentelle Beweis des paradox anmutenden Zustandes, daß an Stellen mit hoher Konzentration des Oxidationsmittels das Metall unangegriffen bleibt und genau dort korrodiert, wo das Oxidationsmittel fehlt. Auch bei anderen Modellbelüftungszellen war in der Regel die Korrosionsgeschwindigkeit der Anode größer als die der Kathode. [39,S.246/247]

2.5.3. Verlauf der Spaltkorrosion

Zu Beginn ist im Elektrolyt noch kein Konzentrationsgefälle. Die Korrosionsvorgänge sind die eines vollständig belüfteten

Metalls. Metallionen gehen in Lösung, H^+ und O_2 werden verbraucht. Wasser dissoziiert nach und kann mit den Metallionen mehr oder weniger lösliche Hydroxide bilden. Sie können wie im Falle des Eisens vom Metall adsorbiert werden und autokatalytisch wirken. [39,S.116]

Im Spaltelektrolyt kommt es zur Anreicherung der Korrosionsprodukte. Er verarmt an Sauerstoff. Es entsteht ein Konzentrationsgefälle. Die Anreicherung der Metallionen bewirkt eine elektrolytische überführung von Anionen aus dem umgebenden Hauptelektrolyten. Chloride sind Anionen starker Säuren und Metallionen Kationen schwacher Basen, infolgedessen wird der Spaltelektrolyt angesäuert.

Ein stationärer Zustand der Spaltkorrosion ist dann erreicht, wenn durch die Konzentration korrosionsfördender Ionen im Spaltelektrolyt eine Passivierung des Metalles im Spalt verhindert wird.

Somit stellt die Spaltbildung im Vergleich zur vollständigen Belüftung eine Bedingung verstärkter Korrosion dar. [39]

3. Problemdarstellung

Wie in 1.1.,1.2.,1.3. und 1.4. dargelegt, sind viele Legierungen zur prothetischen Verwendung freigegeben, über die weder klinische, noch in-vitro-Erfahrungen vorliegen. Der klinische Großversuch wurde Labortests vorangestellt.

In-vitro-Untersuchungen bieten sich an, um einzelne Legierungen und Legierungsgruppen hinsichtlich ihres Korrosionsverhaltens zu beschreiben. [23,83]

Es fehlen standardisierte in-vitro-Testverfahren, deren Ergebnisse Aussagen zulassen über das wahrscheinliche Verhalten einer Dentallegierung im klinischen Gebrauch. [9,11,34,41,42,81,83] Klinischen Erfahrungen [3,6,15,17,20,21,61,68,73,83] stehen chemische und elektrochemische Untersuchungen gegenüber. [22,23,24,35,36,47,51,57,59,60,63,70,72,76,77,79,82,86]

Einfache Testverfahren, die auch in zahntechnischen Labors und weniger wissenschaftlich - apparativ ausgestatteten Institutionen ein "screening" von Dentallegierungen erlauben, sind nicht standardisiert.

4. Ziele der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, die Ergebnisse zweier Testverfahren vorzustellen, die anhand unterschiedlicher Legierungstypen (Tab. I.-III.) durchgeführt wurden. Der Elektolyt dieser Versuchsreihen war eine wässrige Lösung von 0,1Mol NaCl und 0,1Mol Milchsäure mit einem pH von 2,3.

Die Testverfahren sind so angelegt, daß sie ohne großen technischen und finanziellen Aufwand zu reproduzierbaren Ergebnissen führen können.

Die Testverfahren unterscheiden sich hinsichtlich der Korrosionsbedingungen. Ein Verfahren belüftet die Legierungsprobe allseitig. Beim anderen sind die Bedingungen zur Spaltkorrosion gegeben. Diese Zweiteilung war notwendig, um die Auswirkungen unterschiedlicher Bedingungen, die bei Zahnersatz gegeben sein können, auf das Verhalten der Legierungen abschätzen zu können. Spaltbedingungen liegen bei Zahnersatz zum Beispiel unter Klammern, in Geschieben und an Kunstoffeinlassungen vor. [23,55]

Die Korrosionsgeschwindigkeiten einzelner Legierungen können durch gravimetrische Messungen der Metallverluste nach Entfernen eventueller Korrosionsprodukte bestimmt werden. [86]

Änderungen der pH-Werte können Hinweis auf die Art und den Grad der kathodischen Reaktionen sein. [12,39]

5. Material und Methode

5.1. Material

5.1.1. Die Dentallegierungsproben

5.1.1.1. Die Vorbereitung der Proben

Für die Versuche standen Metallplättchen unterschiedlicher Dentallegierungen zur Verfügung. (Tab I.-III.) Die edelmetallhaltigen Proben waren von den Herstellerfirmen gegossen worden. Die edelmetallfreien Legierungen wurden im zahntechnischen Labor der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Tübingen nach dem Wachsausschmelzverfahren vergossen. Die Richtmaße der Probenquadrate waren 10×10×1 mm. Alle für die Aufbrennkeramik geeigneten Legierungsproben wurden folgenden Keramikbränden unterzogen:

Oxidbrand 930°C, Grundbrand 960°C, Hauptbrand 980°C, Korrekturbrand 980°C, Glanzbrand 920°C.

Die Steigezeit betrug 6 min, die Haltezeit 1 min. Während der Brände kann sich die Zusammensetzung der Legierungsoberflächen ändern. Die Korrosionsresistenz kann dadurch gemindert werden. [74,77]

a) Beschliff und Politur

Alle Proben wurden rundum beschliffen und poliert. Dabei können Veränderungen der Oberflächen zur verminderten Korrosionsresistenz führen. [74,77]

Auf einem Poliergerät (Fa.Wirtz Jean) wurden die Proben mit Schleifpapieren unter Wasserkühlung geglättet.

Kornzahl	Korngröße
320	46 µm
600	26 µm
1000	18 µm
1200	15 µm

Die Kornzahl nennt die Anzahl der Schleifkörner pro cm^2. Die Korngröße beziffert den Korndurchmesser.

Die Politur erfolgte mit Diamantpasten auf Polierfließ. Diamantschmiermittel wurde nach Bedarf zugegeben. Diamantkörner folgender Größen wurden verwandt:

7 µm, 3 µm, 1 µm

Es wurde darauf geachtet, daß jeweils alle Spuren des vorangegangenen Bearbeitungsmittels restlos beseitigt waren.

Die Spaltseite der Spaltkorrosionsproben wurde bis zur Kornzahl 1000 beschliffen und dann mit Papier der Kornzahl 600 auf die vorgeschriebene Rauhigkeit gebracht.

b) Reinigung nach dem Beschleifen und der Politur

Im Ultraschallbad (Sonorex AK102, 35kHz, 120/240W) wurden die Proben jeweils 5min in Methanol und destilliertem Wasser gereinigt, anschließend mit Druckluft abgeblasen und über nacht im Exsikkator getrocknet.

5.1.1.2. Die Aufbereitung der Proben

a) Erste Aufbereitung der Proben

Die Proben wurden nach dem Test dem Elektrolyten entnommen und mit destilliertem Wasser abgespült, über nacht im Exsikkator getrocknet und gewogen. Nicht wasserlösliche, haftende Korrosionsprodukte wurden dabei nicht entfernt.

b) Zweite Aufbereitung der Proben

Zur Aufbereitung der Proben nach dem Korrosionstest wurde in Vorversuchen (Abbildung 1a,Tab.29), die nicht weiter ausgeführt werden, folgendes Verfahren als das optimale erkannt:

Durch zweiminütiges Reiben zwischen einem Baumwolltuch und Watte mit einem anschließenden Ultraschallbad in konzentriertem Ammoniak lassen sich Korrosionsrückstände weitestmöglich entfernen. Das Verfahren wurde an allen Probenplättchen in frisch aufbereitetem Zustand getestet. Es führte zu keinen Massenänderungen.

c) Dritte Aufbereitung der Proben

Stichprobenweise wurde daran anschließend eine Behandlung der Proben mit einem Gemisch von 6ml Titriplex III, 4,5ml o,1m NaOH und 20ml aqua dest. durchgeführt.

e) Vierte Aufbereitung der Proben

Nach mindestens einer Woche Lagerzeit im Exsikkator wurden die Proben gewogen

Die in DIN 50905 geforderten Bedingungen für Korrosionstests sind erfüllt.

5.1.1.3. Wägungen

Gewogen wurde am Tag nach der Reinigung (Waage Mettler H10T, Pmax.160g, δ=± 0,1mg). Um Wägefehler möglichst auszuschließen wurde Folgendes beachtet:

Eine Konstante, im Exsikkator aufbewahrte Vergleichsmasse wurde zur Justierung mitgewogen. Für Druck- und Temperaturausgleich in der Wägekammer wurde gesorgt. Massenverlagerungen

im Wägeraum unterblieben während der Wägungen. Die Proben wurden vor dem Wiegen nicht abgeblasen. Nach einem solchen Versuch war eine kurzfristige Gewichtszunahme festgestellt worden, die auf Kondenswasser am im Luftstrom gekühlten Plättchen zurückgeführt werden kann. Alle Proben wurden in mehreren Durchgängen gewogen, bis Übereinstimmung mehrerer Werte bestand.

5.1.2. Elektrolyt

Die Elektrolytlösung wurde aus den Chemikalien (Fa.Merck, p.a.) frisch zubereitet. 0,1Mol NaCl und 0,1Mol Milchsäure wurde auf 1l Lösung aufgefüllt. Der pH-Wert war 2,3. Pro Flasche und Probe wurden 50ml abgefüllt. Die Versuchstemperatur war 37°C ±1°C.

a) pH - Messungen

Die pH-Werte des Elektrolyten vor und nach dem Test wurden bei Zimmertemperatur gemessen. Ein pH-Anstieg spricht für die Umsetzung von Wasserstoffionen zu Wasserstoff.

5.1.3. Weitere Hilfsmittel

a) Handhabung der Proben

Die Proben wurden mit Kunststoffpinzetten transportiert. Zur Befestigung der Proben wurde chirurgischer Faden verwandt, der 1 Woche in konzentrierter NaCl-Milchsäurelösung gelagert worden war und mit 0,1 molarem Elektrolyten gründlich ausgewaschen wurde.

b) Deckgläschen

Die geschliffenen Deckgläschen, auf denen die Proben mit der Spaltseite befestigt wurden, waren mit Methanol fettfrei gespült worden. Auf die vollständige Benetzung des jeweiligen Spaltes mit Elektrolyt beim Einbringen der Proben wurde geachtet.

c) Belüftung und Sauerstoffsättigung

Mittels einer Membranpumpe wurde Luft, die außerhalb des Klimaschrankes durch Wattegläser staubfrei angesaugt wurde, zentral durch eine Gaswaschflasche mit destilliertem Wasser geleitet. Die Gaswaschflasche stand im Klimaschrank (Vötsch VTKTR/125,δ±1°C) und sättigte die Luft mit Wasserdampf. Dies verhinderte das Eindampfen von Elektrolyt in den Probenflaschen, in die die Luft von dort geleitet wurde. Das Verteilersystem schaltete alle Probenflaschen parallel. Aus den Probenflaschen entwich die Luft in den Klimaschrank.

Mittels 15 Proben wurde die mittlere Luftdurchfuhr pro Probe ermittelt. Der Minimalwert war 0,05ml/s, der Maximalwert

0,72ml/s. Der Durchschnittswert war 0,25ml/s. Dies entspricht ØLuft=15ml/min. Bei einem Sauerstoffanteil von 21% in der Luft ergeben sich ØSauerstoff=3,15ml/min. Aus dem Minimalwert von 0,05ml/s Luft ergeben sich 0,718 ml/min Sauerstoff.

Die Löslichkeit von Sauerstoff wird angegeben:
1,275 ml in 50 ml destilliertem Wasser bei 30°C,
0,975 ml in 50 ml 5% NaCl (≈0,8m) bei 25°C,
0,277 ml in 50 ml Meerwasser, NaCl=4 g/l, bei 28°C [8]

Somit kann auch bei alleiniger Betrachtung des Minimalwertes von 0,718ml/min Sauerstoff pro 50ml Elektrolytlösung von Sauerstoffsättigung ausgegangen werden.
Das Einblasen von Luft erübrigte ein mechanisches Umwälzen des Elektrolyten.

d) Optische Hilfsmittel

Zur Betrachtung der Proben wurden die Geräte Olympus BH-2 und Olympus VMZ 1x-4x herangezogen.

e) Probenbehälter

Gaswaschflaschen der Größe 100ml wurden mit destilliertem Wasser gereinigt und getrocknet.

5.2. Methode

5.2.1. Spaltfreier Test (Tab.1.-10.)

Die rundum mit 1µm Diamantpaste polierten Proben wurden gereinigt (5.1.1.1.b) und gewogen. Dies ergab die Ausgangswerte der Ausgangsmassen. Sie wurden frei im Elektrolyten aufgehängt (Abbildung 1c),Tab.29). In jeder Probenflasche befanden sich bereits vortemperierte (37°C) 50ml Elektrolyt. In jede Flasche wurde nur eine Probe eingehängt. Die Proben wurden unter konstanter Luftzufuhr genau 7 Tage im Klimaschrank bei 37°C belassen.

Die gemessenen und errechneten Werte für den spaltfreien Korrosionstest sind in den Tabellen 1. bis 10. aufgelistet.

5.2.2. Spaltkorrosionstest

Die Proben wurden -ausgenommen die Unterseiten- rundum mit 1µm Diamantpaste poliert. Die Unterseiten (Spaltseite) wurden mit Papier der Kornzahl 1000 beschliffen und anschließend mit Papier der Kornzahl 600 aufgerauht. Dies ergibt eine Riefentiefe von 26µm. Sie liegt in der Größenordnung von Spalten, die bei Zahnersatz auftreten können. Die Proben wurden gereinigt und

gewogen (5.1.1.1.b). Dies ergab die Ausgangswerte der Ausgangsmassen.

Da die Böden der Gaswaschflaschen nicht ausreichend plan sind, wurden die Proben mit der aufgerauhten Seite auf geschliffenen Deckgläschen befestigt und mit dem Deckgläschen nach unten auf den Boden der Gaswaschflasche gelegt (Abbildung 1b),Tab.29). Der Elektrolyt war vortemperiert (37°C) und benetzte die Probe allseitig. Unter konstanter Luftzufuhr wurden sie genau 7 Tage im Klimaschrank belassen.

Die gemessenen und errechneten Werte für den Spaltkorrosionstest sind in den Tabellen 11. bis 20. aufgelistet.

5.3. Wertefindung

a) "w"-Werte

Die entnommenen Proben wurden mit destilliertem Wasser abgespült, über nacht im Exsikkator getrocknet und gewogen. (5.1.1.2. a) Die Differenzen zu den Ausgangswerten ergaben die "w"-Werte. Eine Massenzunahme kann für die Ausbildung einer Passivschicht im Elekrtolyten sprechen oder auf anhaftende Korrosionsprodukte zurückgeführt werden. Massenabnahmen sind Zeichen von Korrosion.

b) "x"-Werte

Anschließend wurden die Proben mittels Watte, Baumwolltuch und Ammoniak von Korrosionsrückständen befreit (5.1.1.2.b), über nacht im Exsikkator getrocknet und gewogen. Die Differenzen zu den Ausgangswerten ergaben die "x"-Werte. Massenabnahmen kennzeichnen Massenänderungen, die durch Korrosionsvorgänge verursacht wurden, sofern sie nicht von unabgelösten Passivschichten rückgängig gemacht wurden. Massenzunahmen sprechen dafür, daß die Massenzunahme durch Passivschichten größer war als der Massenverlust durch Korrosion. Entsprechend kann keine Massenänderung bedeuten, weder Korrosion, noch Passivierung fanden meßbar statt oder beide Vorgänge glichen sich, auf die Masse bezogen, aus.

c) "y"-Werte

Einige Proben wurden anschließend mit Titriplex und NaOH behandelt (5.1.1.2.c), über Nacht im Exsikkator getrocknet und gewogen. Die Differenzen zu den Ausgangswerten ergaben die "y"-Werte. Sie zeigen, ob dies einfacher handzuhabende Verfahren dem Reinigungsverfahren mit Tuch und Ammoniak gleichwertig ist. (Vergleich mit den x-Werten) Eine Massenzunahme nach der

Behandlung kann auf fortgesetzte Sauerstoffbindung oder einen Filmüberzug aus dem Chelatbildner zurückgeführt werden. Eine Massenabnahme gegenüber der Ammoniakbehandlung bedeutet weitergehende Ablösung von Korrosionsprodukten, Passivschichten oder Metall.

d) "z"-Werte

Während der Vorversuche war aufgefallen, daß manche Proben während der Lagerung im Exsikkator nach der Reinigung Massenzunahmen erfuhren, die nach einer Woche Lagerzeit konstant blieben. Die Massendifferenzen zu den Ausgangswerten nach mindestens einer Woche Lagerung im Exsikkator ergaben die "z"-Werte. Sie weisen auf die Aufnahme von Luftbestandteilen (außer Wasserdampf) hin. Sie werden auf Passivierungsvorgänge mit Sauerstoff zurückgeführt.

Diese Erscheinung war der Grund, warum der zeitliche Abstand von einem Tag zwischen Reinigung und Wägung der Probe strikt eingehalten wurde. Diese Spanne kommt dem Zeitraum zwischen Fertigstellung einer zahntechnischen Arbeit und Einsetzen nahe.

5.3.1. Werteverrechnung (Legende Tab.0.,Tab.1.-20.)

a) Massenverlust pro Fläche (m/A)

Der Flächenbezogene Massenverlust m/A wurde errechnet aus x/Fläche. Die Fläche A ist die mittels Millimeterpapier und Mikrometerschraube ausgemessene Gesamtfläche der jeweiligen Probe. x ist die Massendifferenz der Probe, die nach der Ammoniakbehandlung auftrat. m/A ist ein Parameter zum Vergleich von Korrosionsraten.

b) Dickenabnahme (m/Ad = D)

Die Dickenabnahme bezieht in den Massenverlust pro Fläche die Dichte mit ein. Ausgehend von gleichmäßigem Flächenabtrag ist sie ein vergleichender Parameter, der die Größe eines Korrosionschadens in der Dicke des Abtrages erfasst. Die Dichten d entsprechen Werksangaben. [87,...,93]

c) Standardabweichungen (stand)

Die Standardabweichungen wurden für die Dickenabnahmen jeder Probe und Versuchsart berechnet.

d) Durchschnittliche Dickenabnahme einer Probe (PøD)

Die durchschnittliche Dickenabnahme ist das arithmetische Mittel der Dickenabnahmen einer Probe einer Versuchsart.

e) Durchschnittliche Dickenabnahme einer Legierung (LøD)

Die durchschnittliche Dickenabnahme wurde bezogen auf eine Legierung in einer Versuchsart.

f) Zwei Proben der Legierung Ultratek , die Lunker zeigten, wurden in die Berechnung der Durchschnittswerte nicht einbezogen. (1,96g & 1,72g, Tabelle 20.) [11]

5.3.2. Graphische Auswertung

a) Graphik 21.- 24. (Dickenabnahmen)

Die Minimal- und Maximalwerte der Dickenabnahmen D einer Legierung wurden aufgetragen und mit einer Geraden verbunden, die Werte aus dem spaltfreien Test mit einer durchgezogenen, die Werte aus dem Spaltkorrosionstest mit einer unterbrochenen Geraden. Die jeweiligen Mittelwerte (LøD) wurden senkrecht dazu markiert.

b) Graphik 25.-28. (Massenverluste pro Fläche)

Die Minimal- und Maximalwerte der Massenverluste pro Fläche (m/A) wurden wie in 5.3.2.a)) beschrieben aufgetragen und die errechneten Durchschnittswerte senkrecht dazu markiert.

6. Ergebnisse

6.1. Die Massenänderungen der einzelnen Legierungen im Vergleich (Tabelle 1.-20.)

6.1.1. Die w-Werte, x-Werte, y-Werte und z-Werte im Vergleich

Die w-Werte wurden durch Abspülen der Proben mit aq.dest. (5.1.1.2.a), die x-Werte durch Bürsten und Ammoniakbehandlung (5.1.1.2.b), die y-Werte durch Behandeln mit Titriplex-NaOH (5.1.1.2.c) und die z-Werte durch Lagern einer Woche im Exsikkator (5.1.1.2.d) gewonnen. Sie kennzeichnen die Massenveränderungen in bezug auf die Ausgangsmassen vor dem Test.

Die w-, y- und z-Werte liegen in den meisten Fällen um 0mg bis 0,3mg über den x-Werten.

6.1.2.1. Vergleich der y- zu den x-Werten

Bei den meisten Messungen liegen die y-Werte gleich oder über den x-Werten. Ausnahmen sind im spaltfreien Test:
Herabond, Albabond E, Pors-on 4, Wironium, Wiron 77.
Ausnahmen im Spaltkorrosionstest sind:
Hera KF, Pontallor 3, Orplid keramik 4, Heraloy G, Pangold keramik SF, Wirobond 6692, Elite, Wiron 88, Mikrobond NP2, Ultratek.

6.1.2.2. Vergleich der y- zu den z-Werten

Bei den meisten Messungen liegen die y-Werte unter den z-Werten. Ausnahme ist im spaltfreien Test:
Degulor M.
Ausnahmen sind im Spaltkorrosionstest:
Wironium, Pangold keramik SF.

6.1.2.3. Vergleich der w- zu den x-Werten

Im spaltfreien Test zeigen Orplid hart, Elfenbeingold G2, Pontallor 3, Palliag M, Wironium, Orplid keramik 4 (in zwei Messungen), Degubond 4, Pangold keramik SF, Pors-on 4, Wirobond 6692, Elite und Ultratek in je einer Messung höhere ($\delta \leq$ 0,2mg) x-Werte als w-Werte.
Das selbe Verhalten zeigen im Spaltkorrosionstest:
Pontallor 3, Pangold keramik SF, Wirobond 6692 und Elite.

6.2. Der Vergleich der Legierungen untereinander mittels der Massenänderungen pro Fläche (m/A)

In die graphischen Auftragungen gehen die Standardabweichungen (stand in Tab.1.-20.) mit ein. Nach Auftragung der Werte D

und LøD (Dickenabnahme und durchschnittliche Dickenabnahme einer Legierung) in Graphik 21.-24. und der Werte m/A und ø m/A (Massenverlust pro Fläche und durchschnittlicher Massenverlust pro Fläche einer Legierung) in Graphik 25.-28. zeigt sich, daß die Wertestreuung edelmetallhaltiger Legierungen bei Auftrag von m/A sich annähernd doppelt so signifikant darstellt. In D sind die Dichten mit einbezogen, dies eignet sie zum Parameter für Korrosionsschäden bei gleichmäßigem Abtrag. Im Bezug zur biologischen Wirkung interessieren die Korrosionsraten eher, die durch m/A wiedergegeben werden.

6.2.1. Die Differenzierungen im spaltfreien Test

a) Wertestreuung

1) Wertestreuung über einen Bereich von 0,1mg/cm² bis 0,15mg/cm² zeigen:
Degulor M, Aurolloyd M, Bego Rex, Bond-on 4, Pors on 4.

2) Wertestreuung über einen Bereich von 0,15mg/cm² bis 0,25mg/cm² zeigen:
Elfenbeingold G2, Palliag M, Wironium, Bego Pal.

3) Wertestreuung über einen Bereich von 0,25mg/cm² zeigen:
Orplid keramik (o,38mg/cm²), Wirobond 6692 (0,34mg/cm²), Elite (0,53mg/cm²), Micro-Bond NP2 (1,01mg/cm²), Ultratek (1.05mg/cm², Wiron 77 (2,7mg/cm²).

In Gruppe 3) finden sich die Hälfte der NEM-Keramikaufbrennlegierungen. 1405, Resistal P und Wiron 88 liegen mit der Mehrzahl der edelmetallhaltigen Legierungen in einem Bereich unter 0,1mg/cm².

Aus dieser Auflistung ergibt sich keine Gliederung der Legierungen hinsichtlich der Edelmetallgehalte oder bestimmter Legierungskomponenten, die Bezug zu den Meßwerten hätte.

b) Lage der Durchschnittswerte

1) Der durchschnittliche Wert liegt über +0,05mg/cm² für
Orplid hart (+0,16mg/cm²).

2) Der durchschnittliche Wert liegt zwischen -0,05mg/cm² und -0,15mg/cm²für
1Maingold SG, Stabilor G, AuroLloyd M, Degudent U, Bego Rex, Cehadent keramik, Wirobond 6692, Elite und Wiron 88.

3) Der durchschnittliche Wert liegt unter -0,15mg/cm² für
Micro-Bond NP2 (-0,21mg/cm²), Ultratek (-0,17mg/cm²) und Wiron 77 (-11,52mg/cm²).

Bis auf Wironium, 1405, und Resistal P gehören die NEM-Legierungen zu den Legierungen mit den höchsten Massenverlusten.

6.2.2. Die Differenzierung im Spaltkorrosionstest

a) Wertestreuung

1) Wertestreuung über einen Bereich von 0,1mg/cm² bis 0,15mg/cm² zeigen:
Degulor M, Palliag M, Heraloy G, Pors-on 4 und 1405.

2) Wertestreuung über einen Bereich von 0,15mg/cm² bis 0,25mg/cm² zeigen:
Hera KF, AuroLloyd M, Herador NH, Degudent U, Orplid keramik, Cehadent keramik und Herabond.

3) Wertestreuung über einen Bereich von 0,25mg/cm² zeigen:
Wironium (0,26mg/cm²), Wirobond 6692 (0,38mg/cm²), Elite (0,47mg/cm²), Wiron 88 (0,46mg/cm²), Micro-Bond NP2 (0,6mg/cm²), Ultratek (0,47mg/cm²) und Wiron 77 (5,06mg/cm²).

In Gruppe 2) sind alle hochgoldhaltigen Aufbrennkeramiklegierungen des Tests enthalten.

Von den getesteten NEM-Legierungen zeigt nur Resistal P Werteschwankungen in den Bereichen gut beständiger edelmetallhaltiger Legierungen. 1405 liegt in Gruppe 1).

b) Lage der Durchschnittswerte

1) Der durchschnittliche Wert liegt über +0,05mg/cm² für
Wironium

2) Der durchschnittliche Wert liegt zwischen -0,05mg/cm² und -0,15mg/cm² für
Maingold KF, Degulor M, Orplid hart, Hera KF, Stabilor G, Aurea SG, Palliag M, Herador NH, Degudent U, Orplid keramik, Bond on 4, Herabond, Pors on 4 und Ultratek.

3) Der durchschnittliche Wert liegt unter -0,15mg/cm² für
AuroLloyd M (-0,17mg/cm²).

Außer Maingold SG, Stabilor NF IV, Elfenbeingold G2, Pontallor 3, Heraloy G, Deva 4, Albabond E, Degubond 4, Bego Rex und Bego Pal zeigen alle edelmetallhaltigen Legierungen durchschnittliche Massenverluste von mehr als 0,05mg/cm², von den NEM-Legierungen liegen Ultratek (-0,1mg/cm²) und Wiron 77 (-3,92mg/cm²) in diesem Bereich.

6.2.3. Die Betrachtung der Legierungsgruppen

a) Vollgußlegierungen

Unter den Vollgußlegierungen zeigt Wironium den größten Wertebereich mit 0,25mg/cm².
Auffallend ist, daß bei den Legierungen Maingold SG und Wironium die Bereiche der Spaltkorrosionswerte um 0,03mg/cm² bzw. um

0,15mg/cm² positiver liegen als die Werte der spaltfreien Korrosion.
Extrem ist die Verschiebung bei Orplid hart, die Werte des spaltfreien Tests liegen bei +0,16mg/cm², die des Spaltkorrosionstests bei -0,05mg/cm².
Aurolloyd M, Hera KF und Degulor M zeigen im Spaltkorrosionstest Massenabträge größer als 0,15mg/cm².

b) Edelmetallhaltige Keramikaufbrennlegierungen

Die breiteste Wertestreuung zeigt Orplid keramik beim spaltfreien Test von -0,25mg/cm² bis +0,12mg/cm².
Deva 4 und Bego Pal zeigen bei der Spaltkorrosion keine Wertestreuung.
Werte negativer als -0,15mg/cm² haben Herador, Degudent U, Orplid keramik, Herabond und Pors-on 4 im Spaltkorrosionstest, Degudent U und Orplid keramik auch im spaltfreien Test.

c) Nichtedelmetallhaltige Keramikaufbrennlegierungen

Die höchsten Massenverluste zeigt Wiron 77 mit 12,83mg/cm² bei der spaltfreien Korrosion und 6,56mg/cm² bei der Spaltkorrosion.
Es folgen Micro-Bond NP2 mit einem Verlust von 1,07mg/cm² und Ultratek mit 0,62mg/cm² im spaltfreien Test.
Außer Resistal P zeigen alle Legierungen dieser Gruppe bei der spaltfreien Korrosion höhere Massenverluste.
1405 und Resistal P verhalten sich mit Massenverlusten kleiner als 0,05mg/cm² und Werteschwankungsbereichen kleiner als 0,15mg/cm² wie gut beständige edelmetallhaltige Legierungen.
Wirobond, Mikro-Bond NP2 und Ultratek zeigen im Spaltkorrosionstest deutlich geringere Massenverluste als im spaltfreien Test.

6.2.4. Ultratek mit und ohne Lunker im Vergleich

Zusätzlich wurden zwei lunkerhafte Proben dem Spaltkorrosionstest unterzogen.(Tab.20.) Die x-Werte sind -23,6mg und -27,1mg. Titriplex-NaOH ergab y-Werte von -24,1mg und -27,6mg. Die Massenabnahmen pro Fläche waren -4,25mg/cm² und -6,08mg/cm². Die durchschnittliche Massenabnahme pro Fläche für lunkerfreie Proben im Spaltkorrosionstest ist 0,09mg/cm².

7.Diskussion

7.1. Die Messung der pH-Werte

Die Messung der pH-Werte der Probenlösungen ergab keine meßbaren Änderungen im Vergleich zum Ausgangs-pH-Wert von 2,3. Die Messungen wurden deshalb in die Ergebnistabellen nicht aufgenommen. Dies kann bedeuten, daß Wasserstoffionen nicht in meßbarer Konzentration umgesetzt wurden oder daß äquivalente Mengen Wasser nachdissoziierten und die Hydroxylionen an Metallionen gebunden wurden. [39]

7.2. Optische Kontrollen

Folgende Proben zeigten vor den Tests Lunker:
Degulor M, Orplid bart, Elfenbeingold G2, Stabilor NF IV, Stabilor G, Palliag M, Orplid keramik 4, Bego Rex, Cehadent keramik, Bego Pal, Pangold kermik SF. Sie alle wurden bei den Herstellerfirmen gegossen.

Zwei Proben Ultratek (1,96g und 1,72g), die Lunker hatten, wurden dem Spaltkorrosionstest unterzogen ohne in die Berechnungen von Durchschnittswerten einzufließen. (Tab.20.)

7.3. Wägegenauigkeit

Bei einer Ungenauigkeit der Waage von 0,1mg liegen viele der gemessenen Massendifferenzen im Unschärfebereich der Waage. Bezieht man die Ungenauigkeit von 0,1mg auf eine durchschnittliche Gesamtoberfläche einer Probe von 2,4cm², ergibt sich ein Wert von 0,04mg/cm². Die Übereinstimmung der Meßwerte zeigt, daß durch die in 5.1.1.3. aufgelisteten Maßnahmen der Fehler sehr klein gehalten wurde.

7.4. Die Bedeutung der w-, x-, y- und z-Werte

Wie die Differenzen zwischen den z-Werten (Lagerung im Exsikkator) und den x- und y-Werten (Reiben und Ammoniakbehandlung bzw. mit Titriplex-NaOH) zeigen, sind alle untersuchten Legierungen in der Lage, aus Luft Sauerstoff aufzunehmen und dadurch an Masse zu gewinnen.

Diese Reaktionen können sofort nach der Politur und dem Beschleifen einsetzen. Im Elektolyten können sie je nach Testart, ob mit oder ohne Spalt, gestoppt, verlangsamt, rückgängig gemacht oder beschleunigt werden. Während des Testes können sich wasserunlösliche, haftende Korrosionsprodukte auf der Probe festsetzen. Mit Ammoniak und Reiben können die gesamten oder ein Teil der Reaktionsprodukte abgelöst werden.

a) Der y-Wert

Der y-Wert liegt bei Herabond, Albabond E, Pors-on 4, Wironium, Wiron 77 im spaltfreien Test, bei Hera KF, Pontallor 3, Orplid keramik 4, Heraloy G, Pangold keramik SF, Wirobond 6692, Elite, Wiron 88, Mikrobond NP2 und Ultratek im Spaltkorrosionstest unter dem x-Wert. Dies bedeutet, daß durch Titriplex-NaOH weiteres Reaktionsprodukt oder Metall abgelöst wurde. Die Legierungen können keiner einheitlichen Gruppe zugerechnet werden. Weitere Versuche sind nötig, um den Unterschied zwischen einer Ammoniak-Behandlung und einer Titriplex-NaOH- Behandlung abschließend zu beurteilen.

b) Der z-Wert

Die Werte nach Lagerung (z-Werte) liegen nach dem spaltfreien Test bei Degulor M und nach dem Spaltkorrosionstest bei Wironium und Pangold keramik SF unter den y-Werten. Es kann sich bei der Behandlung mit Titriplex ein Film auf den Proben gebildet haben, der im Exsikkator austrocknete oder abdunstete.

Um Eindeutigkeit über die Bedeutung der Werte zu erlangen, wären die Proben nach den entsprechenden Maßnahmen Analysen ihrer Oberflächen zu unterziehen, die über den Rahmen dieser Versuche hinausgehen.

c) Der x-Wert

Die Metalle im Mund dürften kaum mit Ultraschall in konzentriertem Ammoniak oder Vergleichbarem behandelt werden (x-Werte). Sie werden von aggressiveren Lösungsmitteln umgeben als destilliertem Wasser (w-Werte). Daher genügen diese Reinigungsmethoden für Tests mit der Zielsetzung unter bekannten und neuen Dentallegierungen zu vergleichen.

Für die biologische Wirksamkeit sind neben den Massen der Korrosionsprodukte deren physikalische chemische Beschaffenheit entscheidend. Diese muß in eigenen Untersuchungen für jede Legierung analysiert werden. [2]

7.5.Der spaltfreie und der Spaltkorrosionstest im Vergleich (anhand von m/A, Graphik 25.-28.)

7.5.1. Wertestreuung

Große Meßwertschwankungen weisen darauf hin, daß die Legierungen empfindlich auf Störungen sind, die bei den Versuchen nicht ausgeschaltet wurden und auch bei üblicher Bearbeitung im zahntechnischen Labor kaum ausgeschaltet werden dürften. Mikroskopisch kleine Ungenauigkeiten können demzufolge das Verhalten dieser Legierungen wesentlich bestimmen.

a) Bei einzelnen Legierungen zeigen sich im Spaltkorrosionstest bis zu vierfach größere Meßwertbereiche als im spaltfreien Test: Hera KF, Herador Nd, Degudent U, Cehadent keramik, Herabond, Pangold keramik SF, 1405, Wiron 88 und Wiron 77.
Das Korrosionsverhalten dieser Legierungen wird unter ausreichender Belüftung weniger von Ver- und Bearbeitungsspuren bestimmt. 1405, Wiron 88 und Wiron 77 nehmen im Spaltkorrosionstest ø an Masse zu.
b) Bis zu vierfach größere Meßwertbereiche im spaltfreien Test zeigen:
Elfenbeingold G2, Deva 4, Bego Rex, Albabond E, Bego Pal, Micro-Bond NP2 und Ultratek.
Bei ausreichendem Sauerstoffangebot kommen bei diesen Legierungen Oberflächeninhomogenitäten wesentlich zum Tragen.
c) Unter Spaltkorrosionsbedingungen kommen Empfindlichkeiten der Legierungen nicht grundsätzlich stärker zum Tragen als unter spaltfreien Bedingungen.

7.5.2. Lage der Durchschnittswerte

Orplid hart liegt im spaltfreien Test beiø +0,16mg/cm². Es ist, wie unter 6.1.2.1. und 6.1.2.3. bestätigt, im spaltfreien Test zu überdurchschnittlicher Massenzunahme, vermutlich in Form von Sauerstoff befähigt.

Dieses Verhalten zeigt Wironium im Spaltkorrosionstest mit ø+0,07mg/cm².

Bezüglich der Massenverluste sind folgende Tendenzen erkennbar:
a) Im spaltfreien Test verlieren NEM-Legierungen wesentlich mehr Masse als im Spaltkorrosionstest. Edelmetallhaltige Legierungen verlieren mehr Masse im Spaltkorrosionstest.
b) Die Verluste edelmetallhaltiger Legierungen im Spaltkorrosionstest liegen im Bereich derer von NEM-Legierungen im Spaltkorrosionstest.

Zur Differenzierung unter edelmetallhaltigen Legierungen eignet sich der Spaltkorrosionstest eher. Werden gleichzeitig NEM-Legierungen mitgetestet, ist zu beachten, daß deren Massenverluste unter spaltfreien Bedingungen wesentlich höher sein können. Entsprechend eigenet sich zum Vergleich von NEM-Legierungen ein spaltfreier Test.

7.5.3. Testverbesserungen

Um eindeutigere Differenzierungen zu erhalten wäre die Verwendung von Proben mit größeren Massen und größeren Oberflächen pro Masse anzuraten. Die Korrosivität des Elektrolyten kann durch Zugabe bestimmter Ionen wie Thiocianid, Sulfid u.a. für bestimmte Legierungen erhöht werden. [24,25,35,36,51,59,63,70,74, 76,86]

7.6. NEM-Legierungen

Betrachtungen stark korrodierter (m/A>0,5mg/cm²) NEM-Legierungen zeigten Flächenabtragungen auf den gesamten Oberflächen. Dies entspricht nicht den aus dem Evanschen Tropfenversuch (2.5.2.) abgeleiteten Annahmen. Die belüfteten Oberseiten wurden nicht nur kathodisch aktiv. Die Abhängigkeit der Massenverluste von der Größe der belüfteten Fläche zeigt, daß die Sauerstoffzufuhr ausschlaggebend ist. Dies deckt sich mit den unveränderten pH-Werten.

7.6.1. Co-Cr-Legierungen

Co-Cr-Legierungen sind: Wironium, 1405 und Wirobond 6692. Sie alle zeigen im Spaltkorrosionstest Massenzunahmen. Nur Wirobond 6692 verliert im spaltfreien Test mehr als 0,05mg/cm².

Dies bestätigt ihre Fähigkeit, Passivschichten zu bilden, die in Spalten wenig angegriffen werden, und die Abhängigkeit der Korrosionsraten von der Sauerstoffkonzentration. [5,23]

Die geringsten Werteschwankungen und durchschnittlichen Abweichungen von der Ausgangsmasse zeigt 1405, gefolgt von Wironium und Wirobond 6692. 1405 ist in den Tests dem Großteil edelmetallhaltiger Legierungen gleichwertig.

7.6.3. Ni-Cr-Legierungen

Ni-Cr-Legierungen sind Resistal P, Elite, Wiron 88, Wiron 77, Micro-Bond NP2 und Ultratek.

a) Vergleichende Untersuchungen

Untersuchungen über das Korrosionsverhalten von Ultratek ergaben, daß im sauren Bereich verstärkt die Beryllium-haltige Phase, die weniger Cr und Al, aber mehr Ni enthält, herausgelöst wird. [47]

Elektrochemische und chemische Untersuchungen an NEM-Legierungen stehen in einigen ihrer Ergebnisse im Widerspruch zu den hier gemessenen Ergebnisssen. So wird Micro-Bond NP2 mehrfach als korrosionsresistenter als Wiron 77, gefolgt von Ultratek, beschrieben. [17,23,77,78,79] Nur im Spaltkorrosionstest zeigt Micro-Bond NP2 geringere Massenverluste als Ultratek. Wiron 77, das in der Korrosionsresistenz Ultratek überlegen sein soll, zeigt mit Abstand in allen Testdurchgängen die höchsten Massenverluste. Sie liegen im spaltfreien Test um das 20-fache, im Spaltkorrosionstest um das 60-fache über denen Ultrateks.

b) Vergleich der Testergebnisse

Mit Abstand die größten Werteschwankungen zeigen Wiron 77, Micro-Bond NP2 und Ultratek in beiden Tests und Elite, Wiron 88 im Spaltkorrosionstest. Dies spricht für eine hohe Korrosionsabhängigkeit von der Qualität der Oberflächenbearbeitungen.

Die Masse von Wiron 88 nimmt im Spaltkorrosionstest zu ø 0,05mg/cm², Elite und Micro-Bond NP2 bleiben bei der Ausgangsmasse, Ultratek verliert ø 0,1mg/cm²), Wiron 77 ø 3,92mg/cm²).

So sind Ultratek und Wiron 77 die einzigen Ni-Cr- Legierungen des Tests, die bei reduzierter Sauerstoffzufuhr die Massenverluste durch Korrosion nicht durch Passivschichtenbildung ausgleichen.

Unter Belüftung zeigen alle Ni-Cr-Legierungen bis auf Resistal P Massenverluste von mehr als 0,1mg/cm².
Unter ausreichend Sauerstoffzufuhr scheint Wiron 88 in der Lage, korrosionsfördernde Oberflächenstörungen zu entschärfen. Es zeigt im spaltfreien Test Werteschwankungen innerhalb von ±0,05mg/cm².

Eine Ausnahme unter den Ni-Cr-Legierungen ist Resistal P. Es ist den beständigsten edelmetallhaltigen Legierungen gleichwertig. Seine gesamten Abweichungen beider Tests liegen innerhalb ±0,05mg/cm². Im Gegensatz zu anderen Ni-Cr-Legierungen verliert es im Spaltkorrosionstest mehr Masse als im spaltfreien Test.

Ultratek enthält ca. 11% Cr, 2% Mo und 1,6% Be,
Micro-Bond NP2 ca. 13% Cr,7% Mo und 7,5% Ga, das für eine annähernd einphasige Struktur verantwortlich gemacht wird [79].

Wiron 77 und 88 enthalten 20% bzw. 21% Cr und 6% bzw. 9% Mo. Elite und Resistal P enthalten bei ähnlichen Cr- und Mo-Gehalten Σ4% Mn,Va,Co bzw. 4% Nb.

So scheint der korrosionshemmende Effekt des Mo durch die Zulegierung von Nb wesentlich gefördert zu werden. [5,23]

c) Ultratek mit und ohne Lunker

Im Spaltkorrosionstest verlieren Proben mit Lunkern 4,2mg/cm² bzw. 6,08mg/cm² (Tab.20) ,das ergibt ø 5,16mg/cm². Lunkerfreie Proben nehmen ø 0,1mg/cm² ab, maximal 0,36mg/cm².
Der durchschnittliche Verlust ist mit Lunkern 50-fach.

Dies zeigt, daß Ultratek bei starken Oberflächenstörungen und nur teilweiser Belüftung in für Dentallegierungen bedenklicher Weise korrodiert. Mit einer Dickenabnahme von ø 6,45µm/Woche sind neben biologischen Wirkungen durch die Menge der Korrosionsprodukte mechanische Beeinträchtigungen von Zahnersatz denkbar.

d) Betrachtung der Ni-Cr-Legierungen

Unter den Legierungen gibt es hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit erhebliche Unterschiede. Nur Resistal P ist beständigen edelmetallhaltigen Legierungen vergleichbar. Wie sich anhand der lunkerigen Proben Ultrateks und der großen Wertestreuungen aller Legierungen, außer Resistal P, zeigt, sind die Beständigkeiten stark von den Ver- und Bearbeitungen abhängig.

Die Frage wie weit Dentallegierungen hinsichtlich der Beständigkeit von der Ver- und Bearbeitung abhängen dürfen, ist unbeantwortet wie die Frage nach der Biokompatibilität der Korrosionsprodukte.

7.6.4. Legierungen mit Ag>10%

a) Legierungen mit Au/Pt-Me < 60% und Ag > 30%

Legierungen mit hohen Silbergehalten und Gold-Platinmetallgehalten unter 60% sind Palliag M (58,5%Ag), Pontallor (40,5%Ag) und Pors on 4 (30%Ag).

Palliag M und Pors on 4 zeigen annähernd das gleiche Verhalten. Im Spaltkorrosionstest liegen sie ca. 0,05mg/cm² unter den Werten des spaltfreien Tests. Ihre Wertestreuungen sind unter 0,15mg/cm². Palliag M nimmt im spaltfreien Test um ø<0,025mg/cm² zu, Pors on 4 um den selben Betrag ab. Massenzunahmen sprechen bei beiden Legierungen für Sauerstoffanlagerung, die im Spaltkorrosionstest die Massenverluste nicht ausgleicht. Es gilt zu berücksichtigen, daß Palliag M Lunker aufwies.(7.2.)

Pontallor 3 zeigt in beiden Tests Werte zwischen 0mg/cm² und -0,05mg/cm². Die Durchschnittswerte liegen in beiden Tests bei -0,03mg/cm², Sein Korrosionsverhalten scheint nur bedingt vom Grad der Belüftung abhängig zu sein. Es gehört in die Reihe der sehr beständigen (m/A<±0,05mg/cm²) Legierungen des Tests.

b) Legierungen mit 75%>Au/Pt-Me>60% und Ag>25% (einschließlich Elfenbeingold und AuroLloyd M)

Darunter fallen folgende goldreduzierte Vollgußlegierungen: Hera KF (30,5%Ag), Stabilor NF IV (29%Ag), Stabilor G (23,3%Ag), Aurea SG (27,5%Ag). Von AuroLloyd M und Elfenbeingold liegen keine Angaben über den Silbergehalt vor.

Massenverluste über 0,1mg/cm² zeigen AuroLloyd M und Aurea SG im Spaltkorrosionstest. Wie Hera KF und Elfenbeingold G2 verlieren sie dabei mehr Masse als im spaltfreien Test. Durchschnittliche Massenänderungen in beiden Tests unter 0,05mg/cm² zeigen Elfenbeingold G2 und Stabilor NF IV. Hera KF zeigt im spaltfreien Test ø Gewichtskonstanz, Elfenbeingold eine Zunahme.

Meßwertschwankungen unter 0,05mg/cm² zeigt keine Legierung. Es ist zu berücksichtigen, daß Elfenbeingold G2, Stabilor NF IV und Stabilor G Lunker hatten. (7.2.)

Unter Spaltbedingungen scheinen nur Stabilor NF IV und Stabilor G in der Lage, Massenänderungen durch Sauerstoffaufnahme und Korrosionsverluste auszugleichen.

c) Legierungen mit 95%>Au/Pt-Me>75% und Ag>10% (einschließlich Orplid hart)

Hierunter fallen die Aufbrennkeramiklegierungen Degubond 4 und Herabond und die Vollgußlegierungen Maingold KF, Degulor M, Maingold SG und Orplid hart (ohne Ag-Gehalt-Angabe).

Orplid hart ist im spaltfreien Test zu für edelmetallhaltige Legierungen ungewöhnlicher Massenzunahme fähig (ø+0,16mg/cm²).

Maingold SG zeigt als einzige Legierung der Gruppe im Spaltkorrosionstest geringere Massenverluste als im spaltfreien Test, mit 12,7% NEM hat es den höchsten Nichtedelmetallgehalt der Gruppe. Dieser könnte die Anfälligkeit für Spaltkorrosion verringern durch Stabilisierung einer Passivschicht, so daß die Korrosionsrate vorwiegend von der Sauerstoffzufuhr abhängt.

Herabond mit dem höchsten Ag-Gehalt (18%) der Gruppe verliert im Spaltkorrosionstest als einziges überhaupt mehr als ø 0,1mg/cm².

Werteschwankungen innerhalb von ±0,05mg/cm² zeigt nur Degubond 4.

Degulor M und Orplid hart hatten Lunker, die jedoch keine außerdurchschnittlichen Werte zeitigten. (7.2)

d) Betrachtung der Ag-haltigen Legierungen

Eine Klassifizierung der Legierungen nach ihren Ag-Gehalten stimmt mit dem Verhalten in den Tests nicht überein. Außer Herabond und AuroLloyd im Spaltkorrosionstest zeigen sie keine

Abweichungen vom Ausgangswert über 0,1mg/cm². Angesichts des Werteschwankungsbereichs von <0,15mg/cm² und der zumindest geringen Auswirkungen von Lunkern kann die Abhängigkeit der Korrosionsneigung von Ver- und Bearbeitungsfehlern als nicht gravierend bezeichnet werden.

Einzig Degubond 4 zeigt Werteschwankungen <±0,05mg/cm² und kann damit zu den sehr beständigen Legierungen gerechnet werden.

7.6.5. Palladium-Legierungen

Stark Palladiumhaltige Legierungen sind Bego Rex (39,7% Pd), Bego Pal (73% Pd) und Pangold keramik SF (keine Angabe). Alle drei hatten Lunker (7.2).

Bego Rex und Bego Pal zeigen im Spaltkorrosionstest geringere Werteschwankungen als im spaltfreien Test. Durchschnittlich liegt nur Pangold keramik SF beim spaltfreien Test über dem Ausgangsgewicht. Massenverluste über 0,1mg/cm² zeigen alle drei Legierungen. Die durchschnittlichen Massenänderungen der drei Legierungen liegen zwischen +0,02mg/cm² und -0,05mg/cm². Bego Pal zeigt im spaltfreien Test größere Messwertschwankungen als Bego Rex. Im Spaltkorrosionstest verhalten sie sich umgekehrt. Bego Pal verliert wie Pangold keramik SF im Spaltkorrosionstest mehr Masse als im spaltfreien Test.

Ein höherer Pd-Gehalt und niederer Goldgehalt scheint die Beständigkeit im Spalt nicht zu verbessern.

Die Lunker der Proben fielen nicht in dem Maße ins Gewicht, wie bei Ultratek. Die Legierungen scheinen in ihrem Korrosionsverhalten nicht erheblich von der Ver- und Bearbeitung abzuhängen.

7.6.6. Legierungen mit 80%<Au/Pt-Me<95%

Mangels Angaben oder wegen entsprechender Angaben über die Ag und Pd- Gehalter werden hier eingeordnet: Cehadent keramik (80% Au/Pt-Me), Albabond E (80% Au/Pt-Me), Bond-on 4 (82,5% Au/Pt-Me), Deva 4 (89,8% Au/Pt-Me) und Heraloy G (90,1% Au/Pt-Me).

Lunker hatte Cehadent keramik (7.2.). Es zeigt wie Albabond E und Deva 4 im Spalkorrosionstest Gewichtskonstanz, wobei Cehadent keramik Wertestreuungen von über 0,15mg/cm² zeigt. Im spaltfreien Test streut es wie Heraloy G die Werte weniger. Massenverluste von über 0,1mg/cm² zeigen Bond-on 4, Cehadent keramik und Heraloy G im Spaltkorrosionstest, Albabond E im

spaltfreien Test. Bond-on 4 und Deva 4 zeigen bei Spaltkorrosion niedrigere Werte als bei spaltfreier Korrosion. Mit den Durchschnittswerten liegen alle Legierungen im Bereich von +0,02mg/cm² und -0,1mg/cm². Deva 4 zeigt durchschnittlich geringfügige (<0,02mg/cm²) Massenzunahmen bei beiden Tests.

So ergibt sich kein einheitliches Bild in dieser Gruppe, das bestimmten Gehalten zugeordnet werden könnte. Lunker scheinen die Beständigkeit nicht sehr wesentlich zu beeinträchtigen.

7.6.7. Legierungen mit Au/Pt-Me ≥ 95%

Hierzu zählen Herador NH, Degudent U und Orplid keramik 4. Auffällig ist der große Wertebereich von Orplid keramik mit 0,38mg/cm² im spaltfreien Test und 0,26mg/cm² im Spaltkorrosionstest. Massenverluste über 0,1mg/cm² zeigten Herador NH nur im Spaltkorrosionstest, Degudent U und Orplid keramik bei beiden Tests. Degudent U hat bei beiden Tests ø 0,1mg/cm² verloren. Herador NH und Orplid keramik blieben mit den durchschnittlichen Massenänderungen im spaltfreien Test im Bereich von ±0,05mg/cm². Orplid keramik 4 hatte Lunker, dies könnte zu der Wertestreuung beigetragen haben. Die Massenverluste in beiden Tests von Degudent U sind für edelmetallhaltige Legierungen ungewöhnlich hoch.

7.6.8. Betrachtung der edelmetallhaltigen Legierungen.

Aus den Messwerten lässt sich keine Gliederung der edelmetallhaltigen Legierungen hinsichtlich der Art unterschiedlicher Edelmetallgehalte oder Verwendungszwecke, Aufbrennkeramik oder Vollguß, ableiten. Innerhalb jeder der nach Edelmetallgehalten gegliederten Gruppen treten Uneinheitlichkeiten im Verhalten auf. Die Gruppen im Vergleich untereinander lassen keine Trennungslinien erkennen. Auch eine Gliederung nach Herstellern brächte keine übereinstimmungen.

7.6.9. Vergleich der NEM-Legierungen mit den edelmetallhaltigen Legierungen

Bei den edelmetallhaltigen Legierungen bleiben die Massenänderungen im Bereich von ±0,25mg/cm² in den Extremfällen, in der überwiegenden Zahl (26-4) liegen die durchschnittlichen Massenänderungen im Bereich von ±0,1mg/cm².

Insofern können diese Grenzbereiche als Standard gelten. Die Beeinträchtigung der Korrosionsbeständigkeit durch Ver- und

Bearbeitungsfehler kann als gering bezeichnet werden, da sie bei keiner der lunkerigen Proben zu messbaren Verschiebungen über die oben eingegrenzten Bereiche führte.

Von den NEM-Legierungen bewegen sich Wironium (Co/Cr), 1405 (Co/Cr) und Resistal P (Ni/Cr) in Meßwertbereichen, die denen der edelmetallhaltigen Legierungen entsprechen.

Versuche mit lunkerigen Proben Ultrateks zeigten erschreckende Korrosion. Wiron 77 korrodierte von allen Legierungen am meisten (-12mg/cm² bzw. -6mg/cm²).

Außer Resistal P erwiesen sich die NEM-Legierungen mit Spalt beständiger als ohne Spalt. Massenzunahmen zeigen, daß sie zur starken Sauerstoffaufnahme befähigt sind (bis +0,4mg/cm² bei Micro-Bond NP2), eine Eigenschaft, die unter edelmetallhaltigen Legierungen nur bei Orplid hart im spaltfreien Test (+0,16mg/cm²) auffiel.

Die beständigsten Legierungen, mit Meßwertschwankungen innerhalb von ±0,05mg/cm² vom Ausgangsgewicht in beiden Tests waren Resistal P und Degubond 4.

Eingeschränkt auf die durchschnittlichen Meßwertschwankungen innerhalb von ±0,05mg/cm² vom Ausgangsgewicht in beiden Tests kommen hinzu: 1405, Pangold keramik SF, Bego Pal, Albabond E, Pontallor 3, Elfenbeingold G2 und Stabilor NF IV.

8. Zusammenfassung

Angesichts der Zulassung aller Dentallegierungstypen zur zahnärztlichen Verwendung in der BRD ergab sich eine Vielfalt, die Forderungen nach standardisierten Prüf- und Bewertungsverfahren zur Qualitätssicherung laut werden ließ. Insbesonders steht das Problem der Biokompatibilität im Raum. Vorwiegend nickelhaltige Legierungen werden unterm Gesichtspunkt allergischer Reaktionen diskutiert. Die biologische Wirksamkeit kann durch die Bestimmung von Korrosionsraten eingegrenzt werden.

Begriffe der Korrosion werden definiert und Korrosionsvorgänge, die unter den gegebenen Versuchsbedingungen ablaufen können, beschrieben.

Hochgoldhaltige, goldreduzierte, Co/Cr- und Ni/Cr- Dentallegierungen wurden einem Spaltkorrosionstest und einem spaltfreien Test unterzogen. Die Probengröße war ca.10×10×1 mm. Der Elektrolyt war 0,1 molar an Milchsäure und NaCl mit einem pH von 2,3 bei 37°C ±1°C und Belüftung, Zeit 7 Tage, Menge 50 ml.

Die Korrosionsraten wurden gravimetrisch ermittelt. Werte mit haftenden, wasserunlöslichen Korrosionsprodukten und ohne Korrosionsprodukte nach Reinigung in konz. Ammoniaklösung wurden ermittelt. Weitere Stichproben erfassten die Reinigungswirkung einer Titriplex-NaOH-Lösung und Massenveränderungen nach 1 Woche Lagerung im Exsikkator.

22 von 26 edelmetallhaltigen Legierungen zeigten keine Massenverluste über 0,25mg/cm² in Einzelmessungen. Lunker in Proben edelmetallhaltiger Legierungen führten nicht zu überdurchschnittlichen Massenverlusten.

Einige der Ni/Cr-Legierungen, Wiron 77, Ultratek und Micro-bond NP2 zeigten erhebliche Massenverluste. Resistal P war beständiger als die Mehrzahl der edelmetallhaltigen Legierungen. 1405 entsprach unter den Co/Cr- Legierungen den Ergebnissen edelmetallhaltiger Legierungen.

NEM-Legierungen, ausgenommen Resistal P und 1405, zeigten stärkere Schwankungen der Messwerte als edelmetallhaltige Legierungen, was als ein Zeichen erhöhter Korrosionsanfälligkeit bei Ver- und Bearbeitungsfehlern gewertet wird. Ihre Massenzunahme bei Lagerung war ausgeprägter.

Lunkerige Ultratek-Proben zeigten im Spaltkorrosionstest ein 50-faches an Massenverlust gegenüber lunkerfreien Proben.

Gliederungen der Legierungen nach ihren Zusammensetzungen werden durch die Meßergebnisse nicht untermauert.

Die beständigsten Legierungen, mit Meßwertschwankungen innerhalb von ±0,05mg/cm² vom Ausgangsgewicht in beiden Tests waren Resistal P und Degubond 4.
Eingeschränkt auf die durchschnittlichen Meßwertschwankungen innerhalb von ±0,05mg/cm² vom Ausgangsgewicht in beiden Tests kommen hinzu: 1405, Pangold keramik SF, Bego Pal, Albabond E, Pontallor 3, Elfenbeingold G2 und Stabilor NF IV. Darunter ist keine der hochgoldhaltigen Legierungen.

Die Differenzierung unter edelmetallhaltigen Legierungen war im Spaltkorrosionstest deutlicher, unter NEM-Legierungen im spaltfreien Test.

Zur Standardisierung eines solchen Testes empfielt sich die Zugabe weiterer korrosiver Anionen wie Thiocyanat und Sulfid. Die Probenmassen sollten höher sein, mit gesteigertem Verhältnis Oberfläche/Masse. Die Aussagekraft ist für vergleichende Untersuchungen von Dentallegierungen ausreichend und sollte zu klinischen Daten korreliert werden.

I. Vollgußlegierungen

Name	Au&PtM	Au	Pt	Pd	Ag	Cu	Cr	Co	Ni	
Maingold KF	83,2	70,0			13,2	0				NEM 3,6
Degulor M	76,5	70,0			13,5					NEM 10,0
Orplid hart	76,0									
Maingold SG	75,0	71,0			12,3					NEM 12,7
Hera KF	65,0	55,0			30,5	0				NEM 4,5
Stabilor NF IV	65,0	55,0			29,0					NEM 6,0
Stabilor G	63,7	58,0			23,3					NEM 13,0
ElfenbeingoldG2	60,1									
Aurea SG	60,0	50,0			27,5					NEM 12,5
AuroLloyd M		54,0	1,0	5,0						
Pontallor 3	46,0	40,0			40,5					NEM 13,5
Palliag M	29,5	2,0			58,5					NEM 12,0
Wironium										Co-Cr Leg.

II.Keramikaufbrennlegierungen

Name	Au&PtM	Au	Pt	Pd	Ag	Cu	Cr	Co	Ni	
Herador NH	96,4	77,8			1,3					NEM 2,3
Degudent U	96,1	77,3			1,2					NEM 2,7
Orplid ker 4	94,8									
Heraloy G	90,1	51,5			0					NEM 9,9
Deva 4	89,8	51,1			0					NEM 10,2
Bego Rex		48,8		39,7						
Bond on 4	82,5	1,0								NEM 17,5
Albabond E	80,0				0		0	0	0	Be 0;Cd 0
Cehadent ker	80,0									
Degubond 4	78,7	49,6			17,5					NEM 3,8
Herabond	78,2	51,5			18,0					NEM 3,8
Bego Pal		2,0		73,0	0					
Pangold ker SF	75,5			PdLeg.						
Pors on 4	57,9				30,0					NEM 12,1

III. NEM Keramikaufbrennlegierungen

Name	Cr	Co	Ni	Mo	Mn	Fe	C	
1405			0					Co-Cr Leg.
Wirobond 6692	30	64		5	0,5	0,5	0,02	Si 1 ;
Resistal P	22		65	9				Nb 4
Elite	21		66	9				Mn,Va,Co 4
Wiron 88	21	0,5	67	9		1	0,01	Si 2
Wiron 77	20	0,5	68,43	6	0,1	0,5	0,02	Si 3,5 ;B 0,75 ;CeLa 0,2
Micro-Bond NP2	12,8		66,85	7		5		Si 0,7 ;Ga 7,5 ;Mg 0,1
Ultratek	11,4	0,5	79,78	2	0,02	2		Be 1,6 ;Si 0,5 ;Al 2,2

Die Zahlen sind Massenprozent-Angaben (%) der Hersteller.

IV. Vollgußlegierungen

Name	Dichte g/cm^3	Preis/g DM/g	Preis/ml DM/ml	Hersteller
Maingold KF	15,4	33,80	520,52	Heraeus
Degulor M	15,7	30,40	477,28	Degussa
Orplid hart	15,4			C.Hafner
Maingold SG	15,4	30,40	468,16	Heraeus
Hera KF	14,1	25,40	358,14	Heraeus
Stabilor NF IV	13,8	25,70	354,66	Degussa
Stabilor G	14,4	26,10	375,84	Degussa
Elfenbeingold G2	13,4			C.Hafner
Aurea SG	13,4	27,40	367,16	Heraeus
AuroLloyd M	13,5			Bego
Pontallor 3	12,2			Degussa
Palliag M	11,1	11,00	122,10	Degussa
Wironium	8,4			Bego

V.Keramikaufbrennlegierungen

Herador NH	17,7	36,10	638,79	Heraeus
Degudent U	18,0	36,10	649,80	Degussa
Orplid keramik 4	17,8			C.Hafner
Heraloy G	14,5	28,40	411,80	Heraeus
Deva 4	14,5	28,50	413,25	Degussa
Bego Rex	13,7			Bego
Bond-on 4	11,5	17,80	204,70	Degussa
Cehadent keramik	14,6			C.Hafner
Degubond 4	14,5	26,60	385,70	Degussa
Herabond	14,3	27,00	386,10	Heraeus
Bego Pal	11,2			Bego
Pangold ker SF	11,1			C.Hafner
Albabond E	11,4	17,70	201,78	Heraeus
Pors-on 4	11,4	14,10	160,74	Degussa

VI.NEM Keramikaufbrennlegierungen

Name	Dichte g/cm^3	Preis/g DM/g	Preis/ml DM/ml	Hersteller
1405	8,5			
Wirobond 6692	8,4	2,08	17,47	Bego
Resistal P	8,5			Degussa
Elite	8,4	3,00	25,20	Alldent AG
Wiron 88	8,2	1,95	15,99	Bego
Wiron 77	8,2	1,95	15,99	Bego
Micro-Bond NP2	8,6	3,38	29,07	Austenal
Ultratek	8,0	2,10	16,80	Ultratek

Stichtag für die Preise war der 1.3.1985.An diesem Tag galten folgende Notierungen:
Feingold DM 31,76
Platin DM 29,95
Palladium DM 14,05
Die Firmen C.Hafner und Bego erteilten über die Preise der edelmetallhaltigen Legierungen keine Auskunft.
Bei den NEM wurde der Cirkapreis/kg Liefermenge zugrundegelegt.
Firma Alldent betont, daß ihre Legierung Elite beliebig oft wiedervergossen werden kann, wodurch Verluste von bis zu 60% entfallen im Vergleich zu nicht wieder vergießbaren Legierungen.
Über die Wiedervergießbarkeit anderer Dentallegierungen lagen keine Angaben vor, dennoch ist sie in eine sorgfältige Kalkulation mit einzubeziehen.
(Zusammensetzungen und Preise wurden persönlichen Angaben der Hersteller entnommen,so weit nicht anderst angeführt:)

0. Legende

Name	Namen der Legierungen. Massen sind die Ausgangsmassen vor den jeweiligen Versuchsdurchgängen auf zwei Kommastellen gerundet.
Ausg.masse	Ausgangsmasse (g), D=Dichte (g/cm³), A=Fläche (cm²)
d A	Dichte "D" nach Herstellerangaben. Fläche "A" nach Vermessen der Probenkörper, Gesamtoberflächen.
w (mg)	Massenänderung nach Reinigung mit dest.Wasser, getrocknet.
x (mg)	Massenänderung nach Reinigung mit Tuch, konz.Ammoniaklösung und dest. Wasser, getrocknet.
y (mg)	Massenänderung nach Reinigung mit Titriplex in NaOH und dest.Wasser, getrocknet.
z (mg)	Massenänderung nach mindestens zehntägiger Lagerung im Exsikkator.
m/A (mg/cm^2)	Massenänderung nach Ammoniakbehandlung bezogen auf die Oberflächen. "Flächenbezogener Massenverlust" x/A
D (m^{-6})	Massenänderung nach Ammoniakbehandlung bezogen auf die Gesamtoberflächen und Dichten. "Dickenabnahme" x/AD
stand	Standardabweichungen aus den Dickenabnahmen eines Probenkörpers, der durch Masse & Fläche bestimmt ist.
PØD (m^{-6})	Durchschnittliche Dickenabnahmen eines bestimmten Probenkörpers.
LØD (m^{-6})	Durchschnittswerte der Dickenabnahmen der Proben einer bestimmten Legierung.

1. Spaltfrei

Name / Ausg.masse	d / A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m^{-6})	stand	PØD (m^{-6})	LØD (m^{-6})
Maingold KF	15,4									
2,14g	2,89	-o,2	-o,2	o		-o,o69	-o,o45			
		+o,1	o			o	o	o,o32	-o,o22	
1,86g	2,82	o	-o,1	o		-o,o35	-o,o23			
		+o,2	-o,1			-o,o35	-o,o23	o	-o,o23	-o,o22
Degulor M	15,7									
3,71g	4,o1	+o,3	+o,3	+o,5	+o,3	+o,o75	+o,o48			
		-o,2	-o,2		-o,6	-o,o49	-o,o32			
		+o,3	+o,1			+o,o25	+o,o16	o,o33	+o,o11	
3,36g	3,9o	+o,1	-o,1	-o,1	o	-o,o26	-o,o16			
		+o,5	+o,2		+o,5	+o,o51	+o,o33			
		o	-o,1			-o,o26	-o,o16	o,o23	o	+o,oo5
Orplid hart	15,4									
1,58g	2,24	-o,1	+o,4	+o,4		+o,178	+o,116			
		+o,2	+o,3		o	+o,134	+o,o87	o,o2o	+o,1o1	
1,57g	2,18	+o,4	+o,4		+o,4	+o,183	+o,119			
		+o,2	+o,3		o	+o,137	+o,o89	o,o21	+o,1o4	+o,1o2
Maingold SG	15,4									
2,21g	3,o5	-o,1	-o,2	-o,2		-o,o66	-o,o43			
		o	-o,1		o	-o,o33	-o,o21	o,o15	-o,o32	
2,o1g	3,o5	-o,2	-o,3	-o,3		-o,o98	-o,o64			
		-o,2	-o,2		-o,1	-o,o66	-o,o43	o,o15	-o,o53	-o,o42

Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm^3), A=Fläche (cm^2)

2. Spaltfrei

Name Ausg.masse	d Λ	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m⁻⁶)	stand	PØD (m⁻⁶)	LØD (m⁻⁶)
Hera KF	14,1									
1,42 g	2,58	-o,1	-o,1	o	o	-o,o39	-o,o27			
		o	o			o	o	o,o19	-o,o14	
1,36 g	2,56	+o,3	+o,1	+o,1	+o,2	+o,o39	+o,o28			
		+o,1	+o,1			+o,o39	+o,o28	o	+o,o27	+o,oo6
Stabilor NF IV	13,8									
3,1og	3,7o	-o,1	-o,2	-o,1		-o,o54	-o,o39			
		+o,2	-o,1			-o,o27	-o,o2o	o,o14	-o,o29	
3,o4g	3,7o	-o,3	-o,3	-o,1		-o,o81	-o,o59			
		o	o			o	o	o,o41	-o,o29	-o,o29
Stabilor G	14,4									
3,18g	3,8	-o,3	-o,3	o		-o,o79	-o,o55			
		+o,2	-o,1			-o,o26	-o,o18	o,o26	-o,o37	
2,2og	2,4o	-o,3	-o,3			-o,125	-o,o87			
		+o,2	-o,1			-o,o42	-o,o29	o,o41	-o,o58	-o,o47
Elfenbeing G2	13,4									
1,55g	2,49	o	+o,1	o	+o,1	+o,o4o	+o,o3o			
		+o,4	+o,1		o	+o,o4o	+o,o3o	o	+o,o3o	
1,38g	2,42	-o,1	-o,1	-o,1	-o,1	-o,o42	-o,o31			
		o	+o,1		o	+o,o41	+o,o31	o,o44	o	+o,o15

Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm³), Λ=Fläche (cm²)

3. Spaltfrei

Name / Ausg.masse	d / A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m^{-6})	stand	PØD (m^{-6})	LØD (m^{-6})
Aurea SG	13,4									
1,81 g	3,oo	-o,2	-o,2		-o,1	-o,o67	-o,o5o			
		o	o			o	o	o,o35	-o,o25	
1.63 g	2,6o	-o,2	-o,2			-o,o77	-o,o57			
		-o,2	-o,2			-o,o77	-o,o57	o	-o,o57	-o,o41
AuroLloyd M	13,5									
1,58g	2,64	-o,1	-o,2	o		-o,o76	-o,o56			
		-o,2	-o,3	o		-o,114	-o,o84	o,o2o	-o,o7o	
1,53g	2,42	-o,1	-o,2	o		-o,o83	-o,o61			
		+o,2	+o,1		+o,4	+o,o42	+o,o31	o,o65	-o,o15	-o,o42
Pontallor 3	12,2									
2,97g	3,8	-o,1	-o,1			-o,o26	-o,o22			
		+o,1	o			o	o			
		-o,2	-o,2			-o,o53	-o,o43	o,o15	-o,o21	-o,o21
Palliag M	11,1									
2,47g	3,98	+o,4	+o,5			+o,126	+o,113			
		+o,4	+o,4			+o,1oo	+o,o9o			
		o	-o,1			-o,o25	-o,o23	o,o73	+o,o6o	
2,42g	3,68	-o,3	-o,2	o		-o,o54	-o,o49			
		-o,1	-o,1			-o,o27	-o,o24			
		-o,1	-o,1			-o,o27	-o,o24	o,o14	-o,o37	+o,o11

Ausgangsmasse (g), d= Dichte (g/cm^3), A=Fläche (cm^2)

4. Spaltfrei

Name Ausg.masse	d A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m^{-6})	stand	PØD (m^{-6})	LØD (m^{-6})
Wironium	8,4									
o,99g	2,47	+o,1	+o,2	o		+o,o81	+o,o96			
		-o,1	-o,2			-o,o81	-o,o96			
		+o,1	+o,2			+o,o81	+o,o96	o,136	+o,o32	
o,65g	2.32	o	-o,3	-o,5		-o,129	-o,154			
		+o,1	+o,2			+o,o86	+o,1o3			
		-o,1	o			o	o	o,129	-o,o17	+o,oo7
Herador N..	17,7									
2,35g	2,86	+o,1	o	o	o	o	o			
		-o,1	-o,1			-o,o35	-o,o2o	o,o14	-o,o1o	
2,1og	2,81	+o,1	-o,1	+o,1		-o,o36	-o,o2o			
		-o,1	-o,1			-o,o36	-o,o2o	o	-o,o2o	-o,o15
Degudent U	18,o									
4,4og	3,44	-o,3	-o,3	-o,3		-o,o87	-o,o48			
		-o,3	-o,3			-o,o87	-o,o48			
		-o,2	-o,6	-o,1		-o,174	-o,o97	o,o28	-o,o64	
4,38g	3,4o	-o,1	-o,3	-o,3	-o,1	-o,o88	-o,o49			
		-o,3	-o,4		+o,2	-o,117	-o,o65	o,o12	-o,o57	-o,o6o
Orplid ker 4	17,8									
1,81g	2,45	o	+o,3	+o,3		+o,122	+o,o69			
		+o,2	+o,3			+o,122	+o,o69	o	+o,o69	

Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm³), A=Fläche (cm²)

5. Spaltfrei

Name Ausg.masse	d A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm^2)	D (m^{-6})	stand	PøD (m^{-6})	LøD (m^{-6})
Orplid ker 4										
1,45g	2,28	-o,6	-o,6	-o,6		-o,263	-o,148			
		+o,1	+o,2			+o,o88	+o,o49	o,139	-o,o49	+o,o1o
Heralov G	14,5									
1,37g	2,66	-o,1	-o,3	-o,1		-o,113	-o,o78			
		-o,2	-o,1			-o,o38	-o,o26	o,o36	-o,o52	
1,o2g	2,54	-o,1	-o,1	+o,3		-o,o39	-o,o27			
		-o,2	-o,2			-o,o78	-o,o54	o,191	-o,o4o	-o,o46
Deva 4	14,5									
3,oog	3,93	o	o	+o,1		o	o			
		+o,1	+o,1	o		+o,o25	+o,o17	o,o12	+o,oo8	
2,9o g	3.71	+o,2	+o,2	+o,4		+o,o54	+o,o37			
		+o,1	-o,1	-o,2		-o,o27	-o,o19	o,o39	+o,oo9	+o,oo8
Bego Rex	13,7									
1,o4g	2,38	-o,1	-o,3	-o,3		-o,126	-o,o92			
		o	-o,2			-o,o84	-o,o61	o,o22	-o,o77	
o,89g	2,32	-o,1	-o,2	-o,2		-o,o86	-o,o63			
		o	o			o	o	o,o44	-o,o31	-o,o54
Bond-on 4	11,5									
2,7og	3,6o	-o,2	-o,2			-o,o56	-o,o48			
		+o,1	-o,2			-o,o56	-o,o48	o	-o,o48	

Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm^2), A=Fläche (cm^2)

6. Spaltfrei

Name Ausg.masse	d A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m⁻⁶)	stand	PØD (m⁻⁶)	LØD (m⁻⁶)
Bond-on 4										
2,33g	3,82	-o,1	-o,1			-o,o26	-o,o23			
		+o,7	+o,4			+o,1o5	+o,o91	o,o8o	+o,o34	-o,oo7
Cehadent ker	14,6									
o,99g	2,32	o	-o,2	+o,2		-o,o86	-o,o59			
		-o,2	-o,2			-o,o86	-o,o59	o	-o,o59	
1,29g	2,42	o	-o,2	+o,5		-o,o83	-o,o57			
		+o,1	-o,1			-o,o41	-o,o28	o,o2o	-o,o42	-o,o5o
Degubond 4	14,5									
3,51g	3,6o	o	o	+o,1		o	o			
		o	+o,1			+o,o28	+o,o19	o,o13	+o,oo9	
3,5og	3,6o	+o,1	o	+o,1		o	o			
		+o,2	-o,1			-o,o28	-o,o19	o,o13	-o,oo9	o
Herabond	14,3									
1,88g	2,93	-o,1	-o,1			-o,o34	-o,o24			
		o	-o,1	-o,1		-o,o34	-o,o24	o	-o,o24	
1,87g	2,85	o	o			o	o			
		o	-o,1	-o,4		-o,351	-o,o25	o,o17	-o,o12	-o,o18
Bego Pal	11,2									
o,96g	2,21	-o,1	-o,3	-o,2		-o,136	-o,121			
		+o,2	+,2			+o,o9o	+o,o8o			
		-o,2	-o,2			-o,o9o	-o,o81	o,1o6	-o,o4o	

Ausgangsmasse (g), d= Dichte (g/cm³), A=Fläche (cm²)

7. Spaltfrei

Name / Ausg.masse	d / Λ	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/Λ (mg/cm²)	D (m⁻⁶)	stand	PøD (m⁻⁶)	LøD (m⁻⁶)
Bego Pal										
1,32g	2,25	o	-o,2	-o,2		-o,o89	-o,o79			
		+o,5	+o,1			+o,o44	+o,o4o			
		-o,1	-o,2			-o,o89	-o,o79	o,o69	-o,o4o	-o,o4o
Pang ker SF	11,1									
o,77g	2,31	o	o	+o,4		o	o			
		+o,2	-o,1			-o,o43	-o,o38			
		+o,2	o			o	o			
		o	+o,1			+o,o43	+o,o38	o,o31	o	o
Albabond E	11,4									
1,58g	2,68	-o,1	-o,3			-o,112	-o,o98			
		o	-o,2			-o,o75	-o,o67			
		+o,2	+o,2	-o,2		+o,o75	+o,o67			
		+o,2	-o,2	-o,2		-o,o75	-o,o67	o,o74	-o,o42	-o,o42
Pors-on 4	11,4									
2,62g	3,4o	-o,3	-o,1	-o,2		-o,o29	-o,o26			
		+o,5	o	-o,1		o	o	o,o18	-o,o13	
2,6og	3,4o	-o,1	+o,1	-o,1		+o,o29	+o,o26			
		+o,2	-o,3	o		-o,o88	-o,o77	o,o73	-o,o26	-o,o19

Ausgangsmasse (g), d= Dichte (g/cm³), Λ=Fläche (cm²)

8. Spaltfrei

Name Ausg.masse	d A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m^{-6})	stand	PØD (m^{-6})	LØD (m^{-6})
1405	8,5									
2,27g	3,79	-o,1	-o,2			-o,o53	-o,o62			
		-o,1	-o,1			-o,o26	-o,o31	o,o22	-o,o47	
2,o9g	3,6o	+o,2	-o,1			-o,o28	-o,o33			
		+o,1	o			o	o	o,o23	-o,o16	-o,o31
Wirobond 6692	8,4									
o,91g	2,4o	o	-o,6		-o,3	-o,25o	-o,198			
		-o,2	-o,4		o	-o,167	-o,198			
		+o,3	+o,1			+o,o42	+o,o5o	o,178	-o,149	
o,89g	2,oo	o	-o,6	-o,3		-o,3oo	-o,357			
		-o,3	-o,4	-o,1		-o,2oo	-o,238			
		-o,1	o			o	o	o,182	-o,198	-o,173
Resistal P	8,5									
2,1og	3,8o	+o,2	o			o	o			
		o	o			o	o			
		+o,2	+o,1			+o,o26	+o,o31	o,o18	+o,o1o	+o,o1o
Elite	8,4									
0,95g	2,26	+o,3	+o,4		o	+o,177	+o,211			
		-o,5	-o,5		-o,1	-o,221	-o,263			
		-o,5	-o,5	-o,4		-o,221	-o,263	o,274	-o,1o5	
o,74g	2,oo	-o,2	-o,7		-o,6	-o,35o	-o,417			
		-o,3	-o,3		o	-o,15o	-o,179			

Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm³), A=Fläche (cm²)

9. Spaltfrei

Name / Ausg.masse	d / A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m^{-6})	stand	PøD (m^{-6})	LøD (m^{-6})
Elite		-o,1	-o,2	o		-o,1oo	-o,119	o,157	-o,238	-o,171
Wiron 88	8,2									
o,92g	2,4o	o	-o,4		-o,2	-o,167	-o,2o3			
		-o,4	-o,4		o	-o,167	-o,2o3	o	-o,2o3	
o,88g	2,4o	o	-o,3		-o,2	-o,125	-o,152			
		-o,3	-o,3		+o,1	-o,125	-o,152	o	-o,152	-o,177
Wiron 77	8,2									
o,91g	2,3o	-29,1	-29,5		-29,3	-12,83	-15,64			
		-25,6	-25,9		-25,6	-11,26	-13,73	1,35o	-14,69	
o,74g	2,2o	-21,5	-21,1	-21,8	-21,5	-1o,o5	-12,25			
		-27,5	-27,8	-27,7	-27,o	-12,64	-15,41	2,234	-13,83	-14,26
Microbond NP2	8,6									
o,87g	2,42	-o,4	-o,7		-o,6	-o,289	-o,336			
		-2,6	-2,6		-2,2	-1,o74	-1,249			
		-o,1	-o,1	-o,1		-o,o41	-o,o48			
		+o,3	+o,2			+o,o83	+o,o96	o,6o4	-o,384	
o,68g	2,oo	+1,4	-o,4		-o,4	-o,2oo	-o,233			
		o	-o,3		-o,3	-o,15o	-o,174			
		-o,1	-o,2	-o,2		=o,1	-o,116			
		+o,1	o			o	o	o,o99	-o,131	-o,257

Ausgangsmasse (g), d= Dichte (g/cm^3), A=Fläche (cm^2)

10. Spaltfrei

Name Ausg.masse	d A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm^2)	D (m^{-6})	stand	PØD (m^{-6})	LØD (m^{-6})
Ultratek	8,o									
o,85g	2,3o	-1,1	-1.5		-1,1	-o,652	-o,815			
		-1,3	-1,4		-1,1	-o,6o9	-o,761	o,o38	-o,788	
o,74g	2,1o	o	-o,1			-o,o48	-o,o6o			
		+o,1	o			o	o	o,o42	-o,o3o	
o,43g	1,8o	+o,5	+o,7			+o,389	+o,486			
		o	-o,1			-o,o56	-o,o69	o,393	+o,2o8	-o,3o5

Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm^3), A=Fläche (cm^2)

11. Spaltkorrosion

Name / Ausg.masse	d / A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m^{-6})	stand	PøD (m^{-6})	LøD (m^{-6})
Maingold KF	15,4									
2,19g	2,89	+o,3	o			o	o			
		-o,2	-o,3		-o,3	-o,1o4	-o,o67			
		o	-o,1	-o,1	o	-o,o35	-o,o22	o,o34	-o,o3o	
1,86g	2,82	-o,2	-o,2		-o,2	-o,o71	-o,o46			
		-o,2	-o,3	o	+o,1	-o,1o7	-o,o69	o,o16	-o,o58	-o,o44
Degulor M	15,7									
3,65g	4,o8	o	-o,3		+o,4	-o,o75	-o,o48			
		-o,2	-o,2			-o,o5o	-o,o32	o,o11	-o,o4o	
3,32g	3,9o	-o,2	-o,7		-o,7	-o,179	-o,114			
		-o,1	-o,1			-o,o26	-o,o16	o,o69	-o,o65	-o,o52
Orplid hart	15,4									
1,58g	2,24	o	-o,2		+o,3	-o,o89	-o,o58			
		o	o			o	o	o,o41	-o,o29	
1,57g	2,18	o	-o,1		+o,2	-o,o46	-o,o3o			
		o	-o,1		o	-o,o46	-o,o3o	o	-o,o3o	-o,o29
Maingold SG	15,4									
2,21g	3,1o	o	o			o	o			
		+o,1	o			o	o	o	o	
2,o1g	3,o5	o	o			o	o			
		-o,2	-o,2		-o,2	-o,o66	-o,o43	o,o3o	-o,o21	-o,o1o

Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm³), A=Fläche (cm²)

12. Spaltkorrosion

Name Ausg.masse	d A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m⁻⁶)	stand	PØD (m⁻⁶)	LØD (m⁻⁶)
Hera KF	14,1									
1,42g	2,58	+o,1	-o,5			-o,194	-o,137			
		+o,2	o			o	o			
		o	-o,2	-o,1	-o,1	-o,077	-o,o55	o,o69	-o,o64	
1,37g	2,56	o	-o,4			-o,156	-o,111			
		-o,1	-o,1			-o,o39	-o,o28			
		o	-o,1	-o,3	-o,2	-o,o39	-o,o28	o,o48	-o,o55	-o,o59
Stabilor NF IV	13,8									
3,1og	3,7o	-o,2	-o,2			-o,o54	-o,o39			
		o	o			o	o			
		o	o			o	o	o,o23	-o,o13	
3,o4g	3,7o	+o,1	-o,2			-o,o54	-o,o39			
		+o,3	o			o	o			
		o	o	o	o	o	o	o,o23	-o,o13	-o,o13
Stabilor G	14,4									
3,18g	3,8o	-o,1	-o,2			-o,o53	-o,o37			
		-o,1	-o,1		-o,1	-o,o26	-o,o18			
		-o,1	-o,1	o		-o,o26	-o,o18	o,o11	-o,o24	
2,22g	2,4o	-o,2	-o,3		-o,1	-o,125	-o,o87			
		-o,2	-o,2	o		-o,o83	-o,o58	o,o2o	-o,o72	-o,o48
Elfenbeingold	13,4									
1,51g G2	2,49	-o,1	-o,1			-o,o4o	-o,o3o			

Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm³), A=Fläche (cm²)

13. Spaltkorrosion

Name / Ausg.masse		d / A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m⁻⁶)	stand	PøD (m⁻⁶)	LøD (m⁻⁶)
Elfenbeingold			+o,1	o			o	o	o,o21	-o,o15	
1,35g	G2	2,42	o	o			o	o			
			+o,1	+o,1			-o,o41	-o,o31	o,o22	-o,o15	-o,o15
Aurea SG		13,4									
1,81g		3,oo	-o,4	-o,4			-o,133	-o,o99			
			-o,2	-o,2			-o,o67	-o,o5o	o,o35	-o,o75	
1,63g		2,6o	-o,1	-o,4			-o,154	-o,115			
			-o,3	-o,3			-o,115	-o,o86	o,o2o	-o,1oo	-o,o87
AuroLlovd M		13,5									
1,55g		2,64	-o,4	-o,7			-o,265	-o,196			
			o	-o,2			-o,o76	-o,o56	o,o99	-o,126	
1,47g		2,42	-o,4	-o,3			-o,124	-o,o92			
			-o,2	-o,4			-o,165	-o,122	o,o22	-o,1o7	-o,116
Pontallor 3		12,2									
2,97g		3,8o	o	-o,2			-o,o53	-o,o43			
			o	-o,1		-o,1	-o,o26	-o,o22	o,o15	-o,o32	
2,91g		3,8o	o	-o,1		-o,1	-o,o26	-o,o22			
			o	+o,1	-o,1	o	-o,o26	-o,o22			
			-o,2	-o,1	-o,2		-o,o26	-o,o22	o	-o,o22	-o,o27
Palliag M		11,1									
2,47g		3,98	-o,3	-o,3			-o,o75	-o,o68			
			+o,1	-o,1			-o,o25	-o,o23			

Ausgangsmasse (g) d= Dichte (g/cm³), A=Fläche (cm²)

14. Spaltkorrosion

Name / Ausg.masse	d / A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m^{-6})	stand	PØD (m^{-6})	LØD (m^{-6})
Palliag M		o	-o,5	-o,3	-o,2	-o,126	-o,113	o,o45	-o,o68	
2,42g	3,68	-o,3	-o,4			-o,1o8	-o,o98			
		+o,2	-o,1			-o,o27	-o,o24			
		+o,2	o	+o,2	+o,2	o	o	o,o51	-o,o41	-o,o54
Wironium	8,4									
o,99g	2,2o	+o,3	o		+o,2	o	o			
		+o,1	+o,1	+o,1	+o,1	+o,o45	+o,o54	o,o38	+o,o27	
o,65g	2,3o	+o,7	+o,6		+o,2	+o,261	+o,311			
		o	o	+o,2	+o,1	o	o	o,219	+o,155	+o,o91
Herador NH	17,7									
2,33g	2,86	o	-o,5		+o,3	-o,175	-o,o99			
		+o,2	-o,1			-o,o35	-o,o2o			
		-o,4	-o,5	-o,5	-o,3	-o,175	-o,o99	o,o46	-o,o72	
2,o8g	2,81	o	-o,2		+o,2	-o,o71	-o,o4o			
		o	o			o	o			
		o	-o,2	-o,2	o	-o,o71	-o,o4o	o,o23	-o,o27	-o,o49
Degudent U	18,o									
4,34g	3.44	-o,2	-o,2		-o,1	-o,o58	-o,o32			
		-o,1	-o,3			-o,o87	-o,o48	o,o11	-o,o4o	
4,32g	3,4o	-o,4	-o,9		-o,8	-o,265	-o,147			
		o	-o,2			-o,o58	-o,o33	o,o81	-o,o9o	-o,o65

Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm³), A=Fläche (cm²)

15. Spaltkorrosion

Name Ausg.masse	d A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m⁻⁶)	stand	PØD (m⁻⁶)	LØD (m⁻⁶)
Orplid ker 4	17,8									
1,78g	2,45	-o,1	-o,5		+o,1	-o,2o4	-o,115			
		-o,1	o			o	o			
		-o,1	-o,5	-o,5	-o,2	-o,2o4	-o,115	o,o66	-o,o76	
1,44 g	2,28	-o,1	-o,1		+o,2	-o,o44	-o,o25			
		+o,1	+o,1			+o,o44	+o,o25			
		+o,1	o	-o,3	+o,1	o	o	o,o25	o	-o,o38
Heralov G	14,5									
1,37g	2,66	-o,2	-o,4		-o,1	-o,15o	-o,1o4			
		+o,1	o			o	o			
		-o,1	-o,1	-o,5	-o,5	-o,o38	-o,o26	o,o54	-o,o43	
1,o1g	2,54	-o,1	-o,1		o	-o,o39	-o,o27			
		+o,2	o			o	o			
		-o,2	-o,2	o	-o,2	-o,o79	-o,o54	o,o27	-o,o27	-o,o35
Deva 4	14,5									
2,96g	3.93	+o,1	o			o	o			
		o	o	o		o	o	o	o	
2,86g	3,71	+o,2	o			o	o			
		o	o	o		o	o	o	o	o
Bego Rex	13,7									
1,o4g	2,38	-o,1	-o,2			-o,o84	-o,o61			
		o	-o,1		-o,1	-o,o42	-o,o31	o,o22	-o,o46	

Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm³), A=Fläche (cm²)

16. Spaltkorrosion

Name Ausg.masse	d A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m⁻⁶)	stand	PØD (m⁻⁶)	LØD (m⁻⁶)
Bego Rex										
0,89g	2,32	-o,1	-o,1			-o,o43	-o,o31			
		o	-o,1		-o,1	-o,o43	-o,o31	o	-o,o31	-o,o38
Bond•on 4	11,5									
2,67g	2,6o	+o,2	-o,1			-o,o38	-o,o33			
		-o,1	-o,3		-o,2	-o,115	-o,1oo			
		-o,1	-o,1		+o,3	-o,o38	-o,o33	o,o38	-o,o56	
2,3og	3,82	-o,1	-o,3		-o,2	-o,o78	-o,o68			
		-o,4	-o,5	-o,3		-o,131	-o,114			
		+o,1	-o,5	o		-o,131	-o,114	o,o26	-o,o99	-o,o77
Cehadent ker	14,6									
1,25g	2,42	+o,3	o		o	o	o			
		o	o		o	o	o	o	o	
o,97g	2,32	+o,3	+o,1		+o,4	+o,o43	+o,o29			
		o	-o,1		-o,1	-o,o43	-o,o29	o,o42	o	o
Degubond 4	14,5									
3,48g	3,6o	o	o			o	o			
		-o,2	-o,2		-o,2	-o,o56	-o,o38	o,o27	-o,o19	
3,46g	3,6o	o	o			o	o			
		o	o	o	o	o	o	o	o	-o,oo9
Herabond	14,3									
1,87g	2,93	-o,4	-o,7		o	-o,239	-o,167			

Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm³), A=Fläche (cm²)

17. Spaltkorrosion

Name Ausg.masse	d A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm^2)	D (m^{-6})	stand	PØD (m^{-6})	LØD (m^{-6})
Herabond		-o,1	-o,1			-o,o34	-o,o24			
		-o,2	-o,4	-o,4	o	-o,136	-o,o95	o,o71	-o,o95	
1,86g	2,85	-o,3	-o,6		-o,1	-o,21o	-o,147			
		o	o			o	o			
		+o,2	-o,2	o	+o,2	-o,o7o	-o,o49	o,o75	-o,o65	-o,o8o
Bego Pal	11,2									
1,32g	2,25	-o,1	-o,1			-o,o44	-o,o4o			
		-o,1	-o,1		-o,1	-o,o44	-o,o4o	o	-o,o4o	
o,96g	2,21	-o,1	-o,1			-o,o45	-o,o4o			
		-o,1	-o,1		-o,1	-o,o45	-o,o4o	o	-o,o4o	≠o,o4o
Pang ker SF	11,1									
o,77g	2,31	+o,1	o			o	o			
		+o,2	-o,2	+o,1	-o,1	-o,o87	-o,o77			
		o	o		o	o	o			
		-o,1	+o,2	o		+o,o87	+o,o77	o,o63	o	
o,43g	1,92	-o,2	-o,4			-o,2o8	-o,184		-o,184	-o,o92
Pors-on 4	11,4									
2,62g	3,4o	o	-o,3			-o,o88	-o,o77			
		-o,5	-o,5	-o,5	-o,3	-o,147	-o,129	o,o36	-o,1o3	
2,6og	3,4o	o	-o,1			-o,o29	-o,o26			
		-o,4	-o,4	-o,4	-o,3	-o,118	-o,1o3	o,o55	-o,o64	-o,o83

Ausgangsmasse (g), d= Dichte (g/cm^3), A=Fläche (cm^2)

18. Spaltkorrosion

Name Ausg.masse	d A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	◻/A (mg/cm²)	D (m⁻⁶)	stand	PØD (m⁻⁶)	LØD (m⁻⁶)
1405	8,5									
2,26g	3,79	-o,2	-o,2		-o,2	-o,o53	-o,o62			
		+o,3	+o,3	+o,2	+o,3	+o,o79	+o,o93			
		+o,1	-o,1	◻		-o,o26	-o,o31	o,o82	o	
2,o7g	3,6o	-o,2	-o,2		-o,2	-o,o56	-o,o65			
		+o,2	+o,2	-o,2	+o,1	+o,o56	+o,o65			
		+o,2	+o,3	+o,3		+o,o83	+o,o98	o,o86	+o,o32	+o,o16
Wirobond 6692	8,4									
1,o6g	2,3	+o,1	o		o	o	o			
		o	+o,1	-o,1	+o,2	+o,o43	+o,o51			
		o	-o,1			-o,o43	-o,o51	o,o42	o	
o,63g	1,9o	+o,9	+o,7		+o,2	+o,368	+o,439			
		+o,2	+o,2			+o,1o5	+o,125			
		-o,1	+o,3			+o,158	+o,188	o,165	+o,251	+o,125
Resistal P	8,5									
2,o5g	3,8o	-o,1	-o,1		+o,2	-o,o26	-o,o31			
		o	o	o	o	o	o			
		+o,1	o	o		o	o	o,o18	-o,o1o	-o,o1o
Elite	8,4									
o,7og	2,1o	+o,2	o		+o,1	o	o			
		-o,1	-o,1	-o,2	-o,1	-o,o48	-o,o57	o,o4o	-o,o28	

Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm³), A=Fläche (cm²)

19. Spaltkorrosion

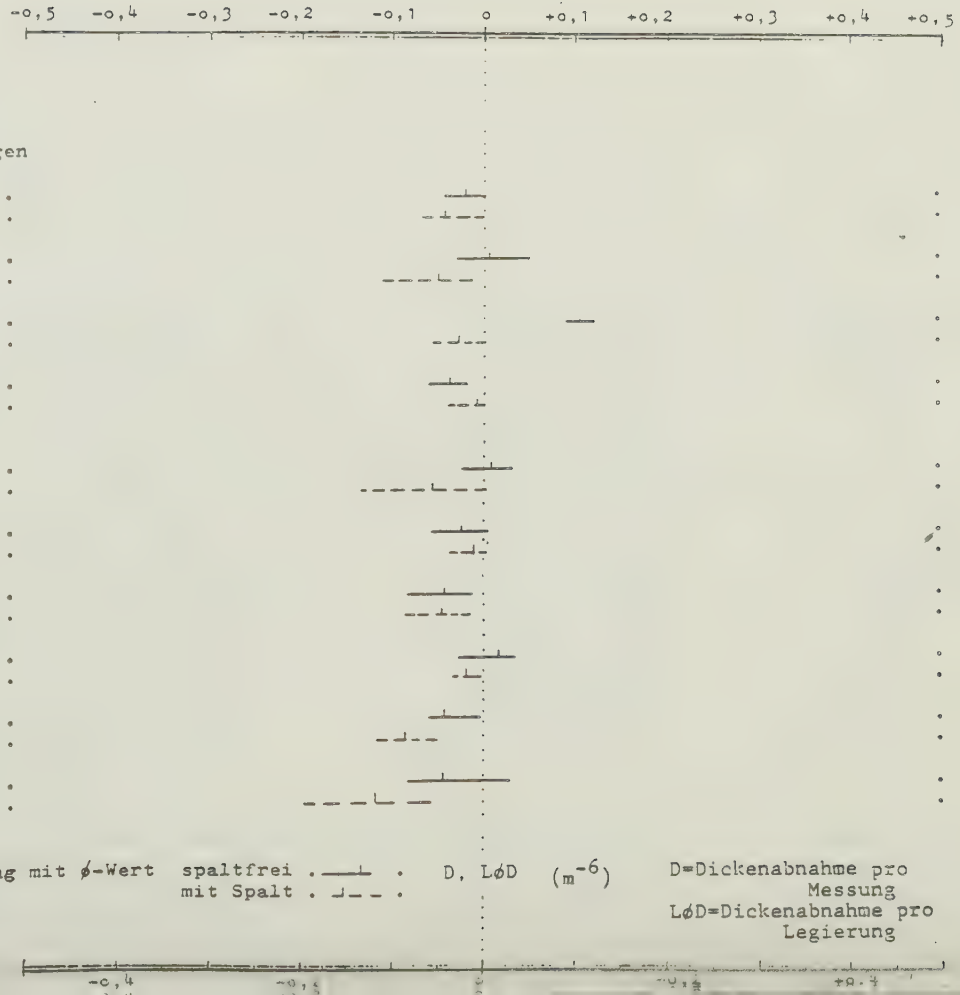
Name Ausg.masse	d A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m⁻⁶)	stand	PØD (m⁻⁶)	LØD (m⁻⁶)
Elite										
o,47g	2,oo	+o,2	o		o	o	o			
		+o,2	+o,4	-o,4	-o,4	+o,2oo	+o,238	o,168	+o,119	
o,94g	2,26	+o,3	+o,1	+o,2		+o,o44	+o,o53		+o,o53	
o,74g	2,oo	-o,3	-o,5	-o,4		-o,25o	-o,298		-o,298	-o,o38
Wiron 88	8,2									
o,74g	2,oo	+o,5	+o,4		+o,2	+o,2oo	-o,244			
		-o,2	-o,2	-o,4	-o,2	-o,1oo	-o,122			
		-o,2	-o,3	-o,5		-o,15o	-o,183	o,231	-o,o2o	
o,32g	2,oo	-o,2	-o,2		-o,2	-o,1oo	-o,122			
		+o,4	+o,3	+o,3	+o,3	+o,15o	+o,183			
		+o,6	+o,6	+o,5		+o,3oo	+o,366	o,246	+o,142	+o,o61
Wiron 77	8,2									
o,45g	1,9o	-5,4	-5,4		-5,4	-2,842	-3,466			
		-8,1	-8,1			-4,263	-5,199	1,225	-4,332	
o,29g	2,oo	-7,5	-7,5		-7,5	-3,75o	-4,573			
		-3,o	-3,o			-1,5oo	-1,829	1,94o	-3,2o1	
o,68g	2,3o	-12,9	-13,2			-5,739	-6,999			
		-3,4	-4,7			-2,o43	-2,492	3,187	-4,745	
o,65g	2,5o	-15,6	-16,4			-6,56	-8,ooo			
		-6,6	-7,4			-2,96	-3,61o	3,1o4	-5,8o5	-4,521

Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm³), A=Fläche (cm²)

20. Spaltkorrosion

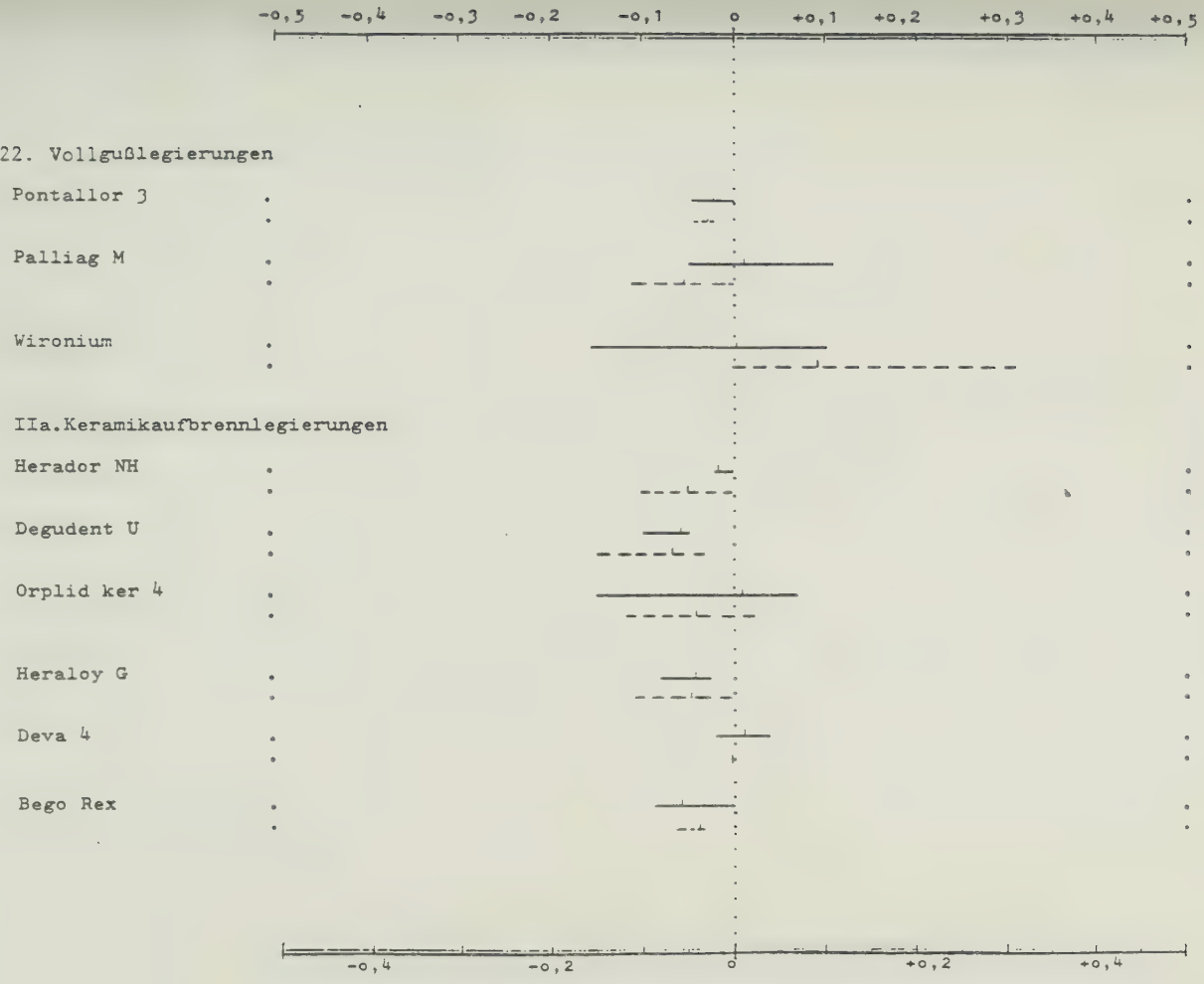
Name / Ausg.masse	d / A	w (mg)	x (mg)	y (mg)	z (mg)	m/A (mg/cm²)	D (m^{-6})	stand	PØD (m^{-6})	LØD (m^{-6})
Microbond NP2	8,6									
o,52g	1,9o	+o,8	+o,8		+o,8	+o,421	+o,49o			
		-o,3	-o,3	-o,4	-o,4	+o,158	-o,184	o,476	o,153	
o,47g	1,7o	-o,3	-o,3		o	-o,176	-o,2o5			
		+o,1	+o,1	-o,6	-o,6	+o,o59	+o,o68	o,193	-o,o68	
o,87g	2,42	+o,2	+o,2	+o,1		+o,o83	+o,o96		+o,o96	
o,65g	1,98	-o,2	-o,3	-o,6		-o,151	-o,176		-o,176	+o,oo1
Ultratek	8,o									
o,74g	2,2o	-o,1	-o,3		+o,2	-o,136	-o,17o			
		o	-o,2	-o,2	+o,3	-o,o91	-o,114	o,o4o	-o,142	
o,44g	1,9o	-o,5	-o,7		-o,5	-o,368	-o,46o			
		-o,1	-o,2	-o,4		-o,1o5	-o,191	1,9o2	-o,325	
o,92g	2,4o	+o,2	+o,1	+o,1		+o,o42	+o,o52		+o,o52	
o,9og	2,2o	+o,4	+o,2	+o,1		+o,o91	+o,114		+o,114	-o,3o1
mit Lunker:										
1,96g	5,6	-23,6	-23,8	-24,1		-4,25o	-5,313		-5,313	
1,72g	4,5	-27,1	-27,4	-27,6		-6,o89	-7,611	1,625	-7,611	-6,462
Albabond E	11,2	(Nachtrag)								
1,58g	2,69	o	-o,1			-o,o38	-o,o33			
		+o,3	o		+o,1	o	o	o,o24	-o,o17	
1,58g	2,67	o	o			o	o			
		+o,2	o		+o,1	o	o	o	o	-o,oo9

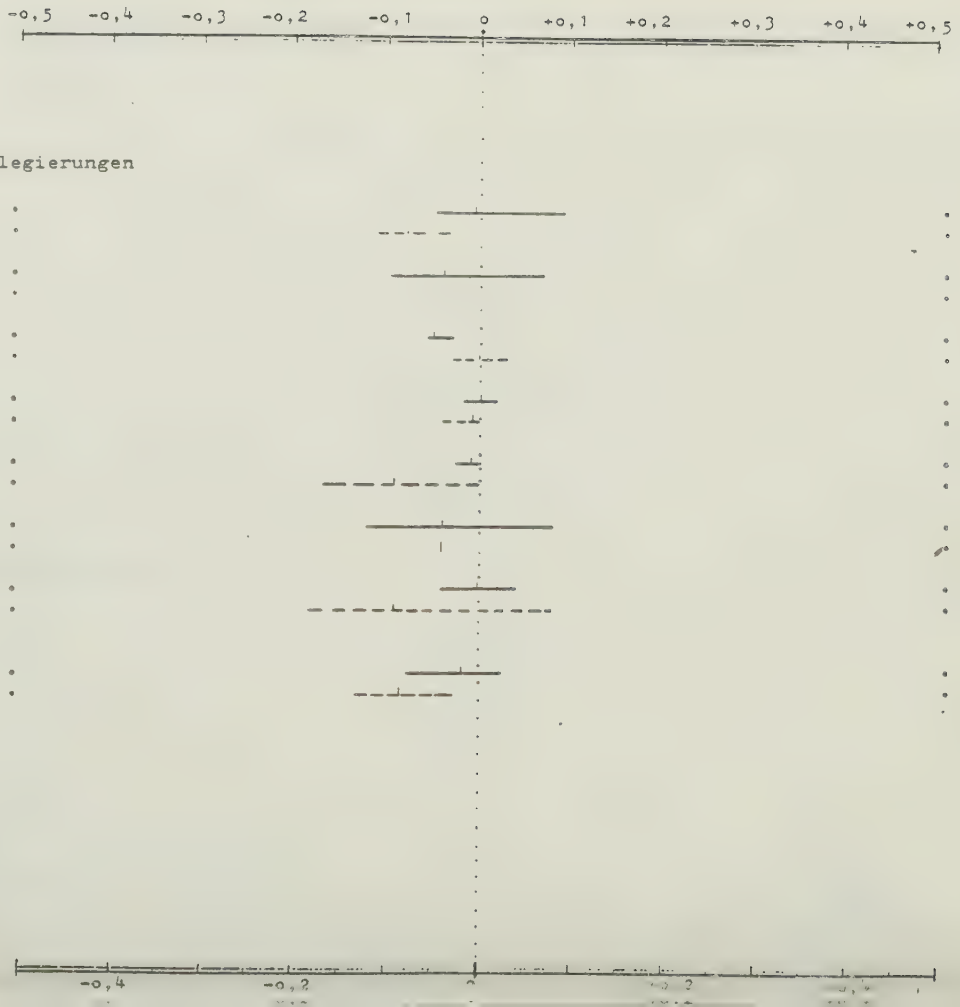
Ausgangsmasse (g), d=Dichte (g/cm³), A=Fläche (cm²)

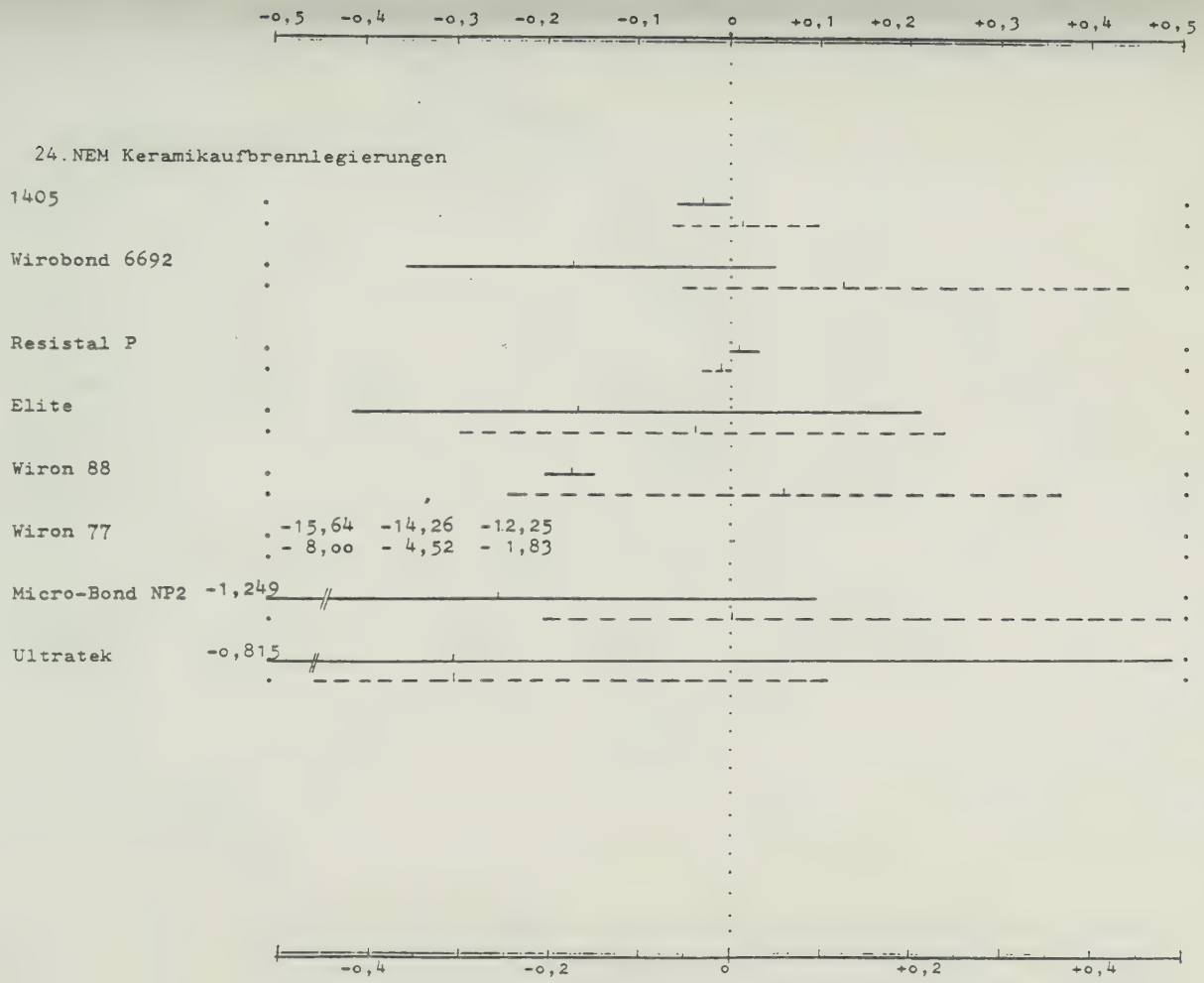


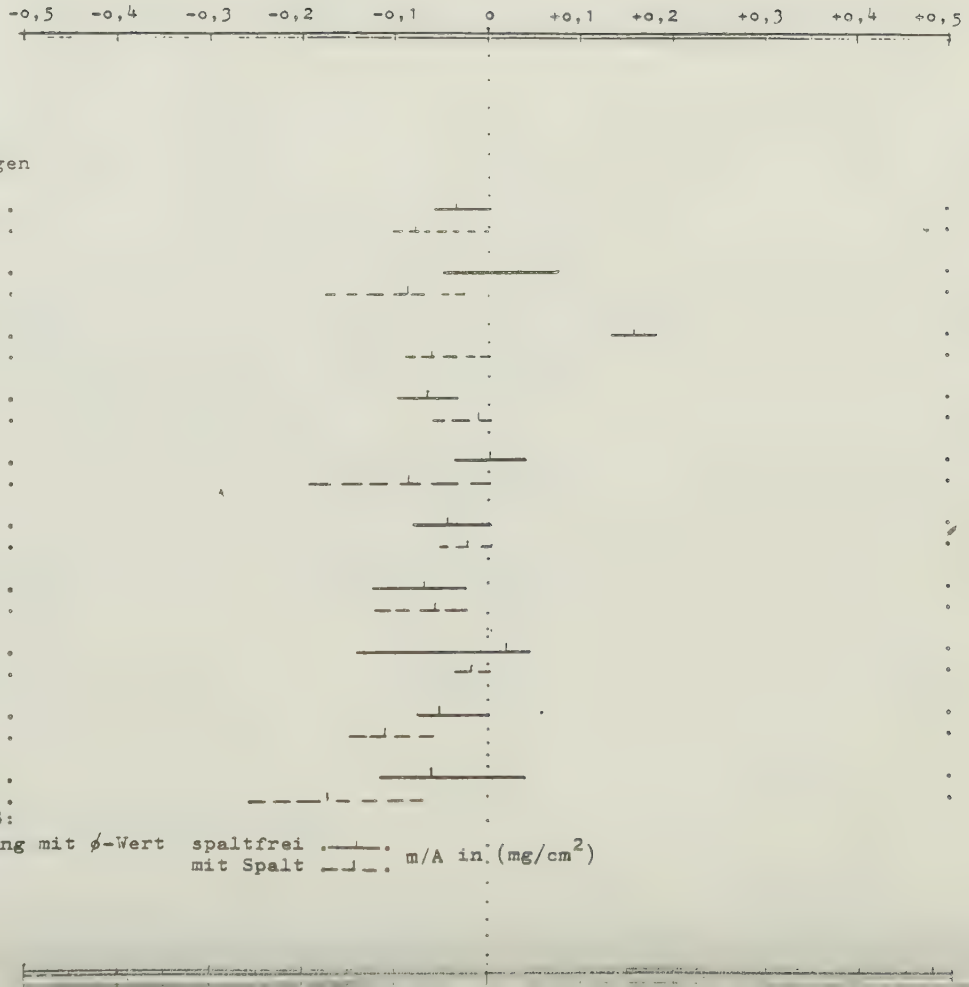
Graphik 1-4:
Wertestreuung mit ø-Wert spaltfrei . —⊥— . D, LøD (m^{-6})
mit Spalt . ⌟‾‾ .

D=Dickenabnahme pro Messung
LøD=Dickenabnahme pro Legierung

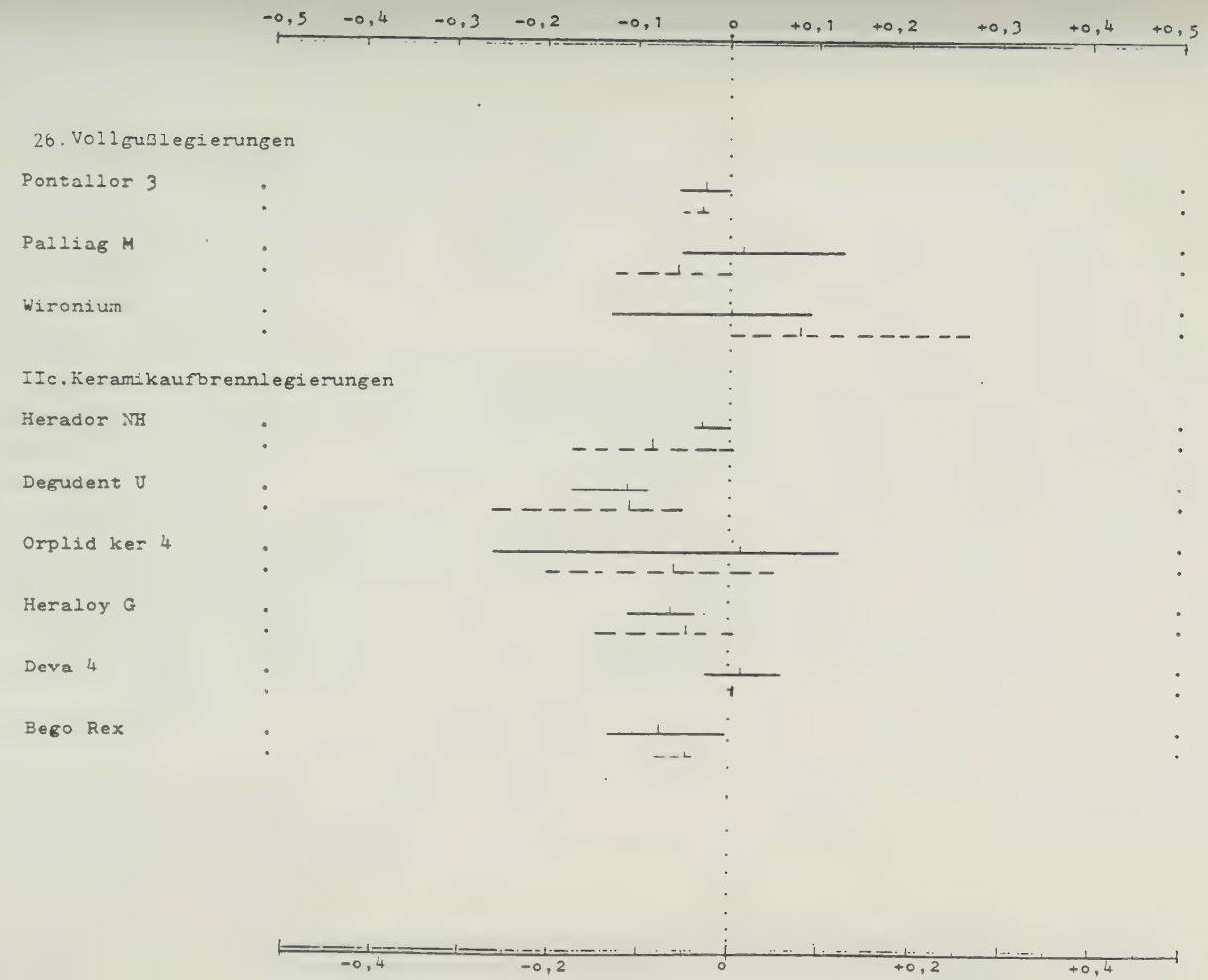

-0,5
-0,4
-0,3
-0,2
-0,1
0
+0,1
+0,2
+0,3
+0,4
+0,5
22. Vollgußlegierungen
Pontallor 3
Palliag M
Wironium
IIa.Keramikaufbrennlegierungen
Herador NH
Degudent U
Orplid ker 4
Heraloy G
Deva 4
Bego Rex
-0,4
-0,2
0
+0,2
+0,4

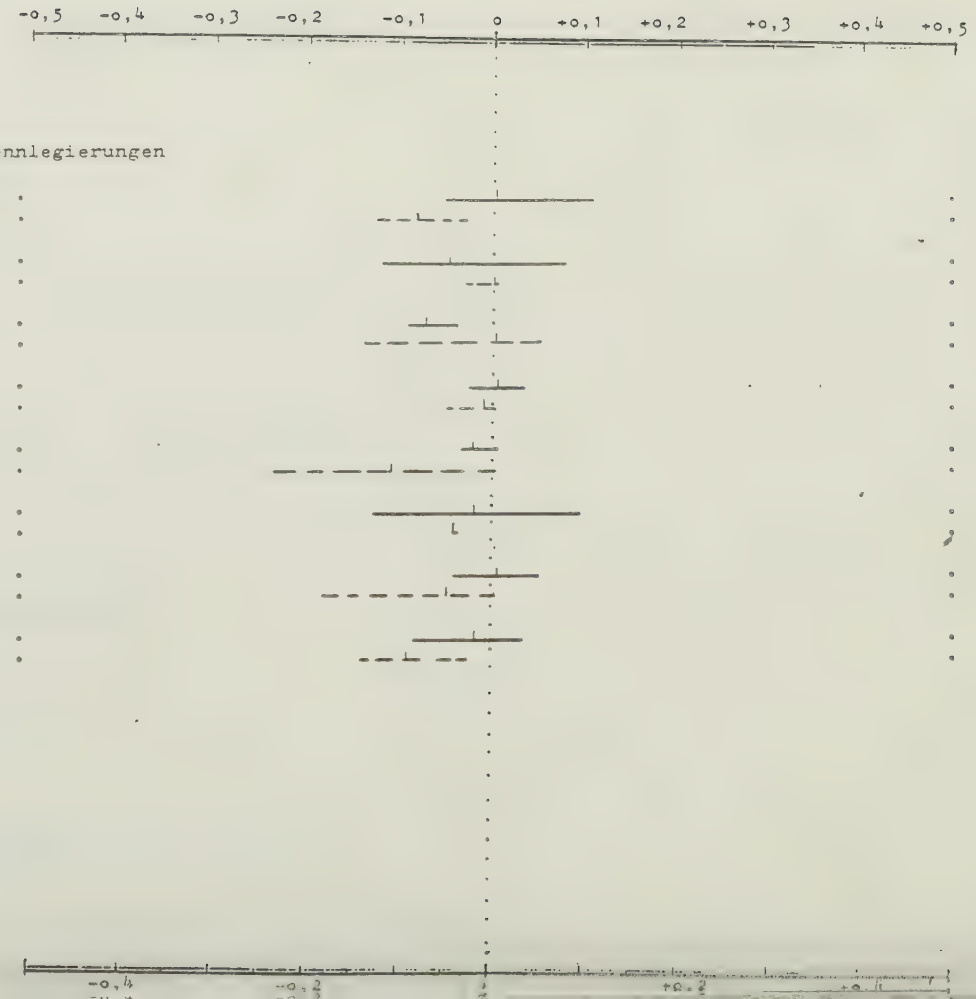

-0,5
-0,4
-0,3
-0,2
-0,1
0
+0,1
+0,2
+0,3
+0,4
+0,5
23. Keramikaufbrennlegierungen
Bond on 4
Albabond E
Cehadent ker
Degubond 4
Herabond
Bego Pal
Pangold ker SF
Pors on 4
-0,4
-0,2


-0,5 -0,4 -0,3 -0,2 -0,1 0 +0,1 +0,2 +0,3 +0,4 +0,5
24. NEM Keramikaufbrennlegierungen
1405
Wirobond 6692
Resistal P
Elite
Wiron 88
Wiron 77
-15,64 -14,26 -12,25
- 8,00 - 4,52 - 1,83
Micro-Bond NP2 -1,249
Ultratek -0,815
-0,4 -0,2 0 +0,2 +0,4



Graphik 5-8:
Wertestreuung mit ∅-Wert spaltfrei .——. m/A in (mg/cm²)
mit Spalt .—.—. m/A in (mg/cm²)


-0,5 -0,4 -0,3 -0,2 -0,1 0 +0,1 +0,2 +0,3 +0,4 +0,5
26. Vollgußlegierungen
Pontallor 3
Palliag M
Wironium
IIc. Keramikaufbrennlegierungen
Herador NH
Degudent U
Orplid ker 4
Heraloy G
Deva 4
Bego Rex
-0,4 -0,2 0 +0,2 +0,4


-0,5
-0,4
-0,3
-0,2
-0,1
0
+0,1
+0,2
+0,3
+0,4
+0,5
27. Keramikaufbrennlegierungen
Bond on 4
Albabond E
Cehadent ker
Degubond 4
Herabond
Bego Pal
Pangold ker SF
Pors on 4

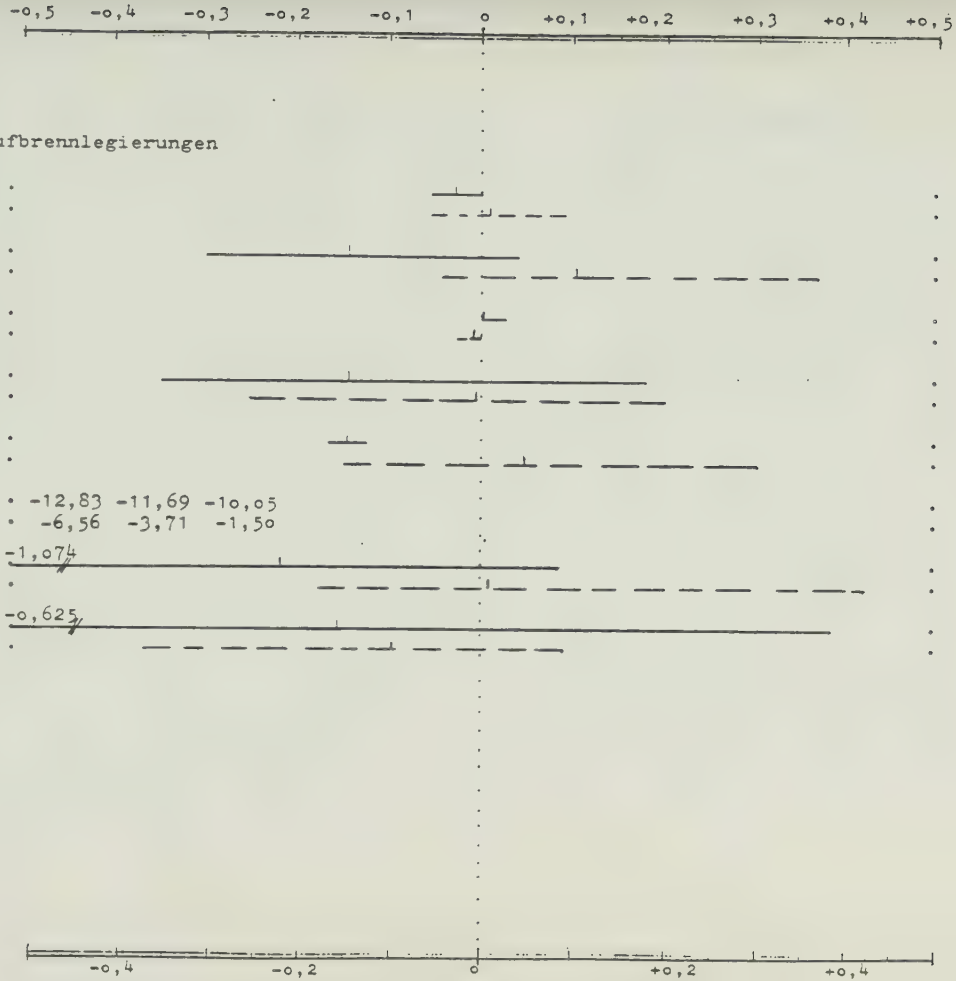
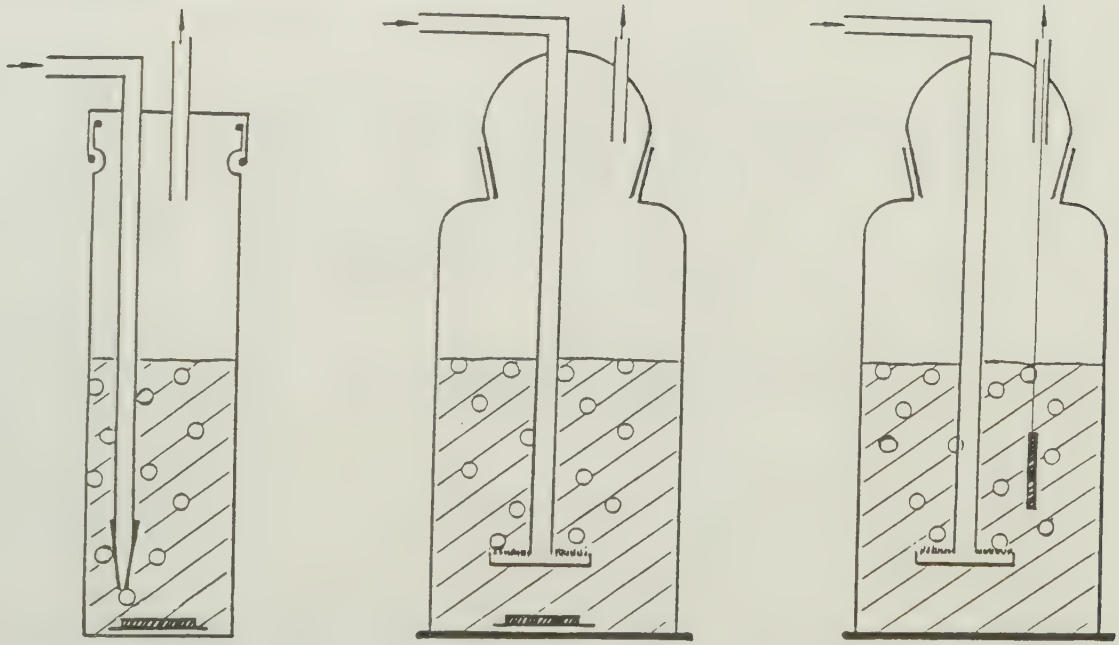

-0,5 -0,4 -0,3 -0,2 -0,1 0 +0,1 +0,2 +0,3 +0,4 +0,5
28. NEM Keramikaufbrennlegierungen
1405
Wirobond 6692
Resistal P
Elite
Wiron 88
Wiron 77
-12,83 -11,69 -10,05
-6,56 -3,71 -1,50
Micro-Bond NP2
-1,074
Ultratek
-0,625
-0,4 -0,2 0 +0,2 +0,4

Abbildung1: Schema der Versuchsanordnungen



a) Vorversuche b) Spaltkorrosionstest c) Spaltfreier Test

Literaturverzeichnis

[1] Arbeitskreis für Edelmetalle in der Zahngesundheit, aez.(1984):Gesundheitliche Risiken durch Nickel-Chrom-Legierungen für Zahnersatz. Zahnärztl.Prax.,35,208-209

[2] Ariely E., Gilde H., Fien W., Overdiek H.F., Schumacher J., Wesch H., Wilstermann G.(1984): Studie zur Frage der in vivo-Testung der Biokompatibilität von NEM-Legierungen. Zahnärztl.Welt,93,130-139

[3] Ariely E.(1984): Orale Rehabilitation mit konusteleskopierenden Brücken aus NEM-Legierungen. Zahnärztl.Welt (1984),93,212-215

[4] Backhaus E., Seta G.(1984): Edelmetallfreie Dentallegierungen aus der Sicht des zahntechnischen Labors. Zahnärztl.Praxis,35,230-233

[5] Bernau R.(1978): Stomatologische Legierungen, in: Stomatologische Werkstoffkunde. Hrsg.: Breustedt A., Lenz E., Joh.Ambr.Barth, Leipzig,196-241

[6] Bertolotti R.L.(1984): Selection of alloys for today's crown and fixed partial denture restorations. J.Amer.dent.Ass. Vol.108,959-966

[7] Dalmau L.B.(1984): Immunological Mechanism of Delayed Hypersensitivity to Nickel Compounds. Quintessence International Digest, Vol.15,559-561

[8] D'Ans-Lax (1967): Taschenbuch für Chemiker und Physiker. Hrsg.: Lax E., Synowietz C.,BandI,3.Aufl.,Springer,Berlin, Heidelberg,New York,1-1202-1-1213

[9] DIN 13906 (1982) Goldgußlegierungen, Berlin

[10] DIN 50900 (1975) Korrosion der Metalle, Berlin

[11] DIN 50905 (1975)Chemische Korrosionsuntersuchungen,Berlin

[12] DIN-Entwurf (1984) 2nd german proposal for tarnisch and corrosion test methods for metals and alloys used in dentistry

[13] Distler W., Kröncke A.(1978): Intra- und extrazelluläres Säurespektrum von in vitro inkubierter Plaque. Dtsch.zahnärztl.Z.,33,629-633

[14] Ebert H.(1972): Elektrochemie, Vogel,Würzburg,2.Aufl.

[15] Eichner K.(1985): Klinische Beurteilung dentaler Legierungen, Dtsch.zahnärztl.Z.,40,266-272

[16] Eichner K.(1985): Legierungen, Zahnärztl.Welt, 94.Jg.,18-24

[17] Einfeldt H.(1985): Die Dentalmetalle in der zahnärztlichen Prothetik, Zahnärztl.Welt,94,140-144

[18] Fachvereinigung Edelmetall(1984): Edelmetallreduzierte Legierungen aus der Sicht der Hersteller. Zahnärztl.Mitt. 74,127-130

[19] Forck G.(1984): Allergologische Aspekte bei der Verwendung von Dentallegierungen. Zahnärztl.Mitt.,74,134-137

[20] Franz G.(1982): Zur Häufigkeit von Allergien gegen zahnärztliche Materialien, Dtsch.zahnärztl.Z.,37,697

[21] Freesmeyer W.B., Ebersbach O.W., Lindemann W.,Hüttemann H.(1986): Schleimhautverfärbungen nach Versorgung mit Kronen und Brücken, Dtsch.zahnärztl.Z.,41,464-467

[22] Fusayama T.,Katayori T.,Nomoto S.(1963): Corrosion of Gold and Amalgam placed in contact with each other, J.dent.Res., 44,1183

[23] Geis-Gerstorfer J., Sauer K.H., Weber H.(1986): In-vitro-Korrosionsuntersuchungen zum Massenverlust von Nichtedelmetallegierungen, Dtsch.zahnärztl.Z.,41,519-524

[24] Geis-Gerstorfer J., Weber H.(1985): Der Einfluß von Kaliumrhodanid auf das Korrosionsverhalten edelmetallfreier Dental-legierungen, Dtsch.zahnärztl.Z.,40,87-91

[25] Gellings P.J., Tostmann K.H..(1981): Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen, Hanser, München,Wien 1.Aufl.

[26] Glenert U.(1985): Stomatitis durch Gold verursacht, Zahnärztl. Prax.,36,109

[27] Graf H.(1969): Telemetrie des pH der Interdentalplaque, Schweiz.Mschr. Zahnheilk.,79,160-162

[28] Grundmann E.(1984): Allgemeine Ätiologie und Pathogenese von Krankheiten, in Einführung in die Allgemeine Pathologie, Springer,Stuttgart,New York,4.Aufl.

[29] Gundlach H.W.(1984): Der Einsatz von NEM-Legierungen in der zahnärztlichen Versorgung, Zahnärztl.Mitt.,74,130-134

[30] Hamann C.H., Vielstich W.(1975): Elektrochemie I, Chemie-Physik,Weinheim,1.Aufl.

[31] Herber R.,Fink D.(1984): Gold oder nicht Gold -das ist hier die Frage, Zahnärztl.Mitt.,74,113-117

[32] Herrmann D.(1977): Allergische Reaktionen durch zahnärztliche Werkstoffe, Münch.med.Wschr.,119,265-270

[33] Herrmann D.(1985): Allergie und Zahnheilkunde aus zahnärztlicher Sicht, Dtsch.zahnärztl.Z.,40,358-363

[34] Herrmann D.(1985): Biokompatibilität dentaler Legierungen, Dtsch.zahnärztl.Z.,40,261-265

[35] Hiller K., Kaesche H., Kaiser H., Brämer W., Sperner F. (1982): Untersuchungen zur Resistenz von Edelmetalldental-legierungen, Werkstoffe und Korrosion, 33,83-88

[36] Hoar T.P., Mears D.C.(1966): Corrosion-resistant alloys in chloride solutions: materials for surgical implants, Proc.Roy.Soc.Series A294,486-510.
[37] Hoffmann U., Rüdorff W.(1973): Anorganische Chemie, Vieweg Braunschweig,21.Aufl.
[38] Jander G., Blasius E.(1971): Einführung in das anorganisch-chemische Praktikum, Hirzel,Stuttgart,9.Aufl.
[39] Kaesche H.(1966): Die Korrosion der Metalle, Springer,Berlin,Heidelberg,New York,1.Aufl.
[40] Kaiser H., Kaesche H.(1980): Mechanismen der selektiven elektrolytischen Korrosion homogener Legierungen, Werkstoffe und Korrosion, 31,347-353
[41] Kees R.(1984): Alternativlegierungen immer noch ein Thema, Zahnärztl.Mitt.,74,112
[42] Kittel H.(1985): Internationale Normen sollen auf dem neuesten Stand bleiben, Zahnärztl.Mitt.,75,44-47
[43] Klaschka F., Galandi M.E.(1985): Allergie und Zahnheilkunde aus dermatologischer Sicht, Dtsch.zahnärztl.Z.,40,364-371
[44] Knappwost A.(182-190): Die überraschend hohe Kariogenität stärkehaltiger Nahrungsmittel, Zahnärztl.Prax.,36,182-190
[45] Knosp H., Nawaz M., Stümke M.(1981): Dental Gold Alloys, Gold.Bull.,14,57-64
[46] Latscha H.P., Klein H.A.(1984): Anorganische Chemie, Springer, Berlin,Heidelberg,New York,Tokio,2.Aufl.
[47] Ludwig K., Behrensdorf J.(1978): über das Korrosions-verhalten der Aufbrennlegierung Ultratek, Dtsch.zahnärztl.Z., 33, 833-836
[48] Magnusson, B., Bergman M., Bergman B., Soeremark R.(1982): Nickel allergy and nickel-containing dental alloys, Scand.J.dent.Res.,90,163-167
[49] Maiwald H.J.(1984): Die Rolle der Zucker in der Kariesätiologie, Zahnärztl.Prax.,5,182-189
[50] Marx H.(1984): Viel Gutes über Ni-Cr-Legierungen, Zahnärztl.Mitt.,74,138-141
[51] Marx H., Stender E.(1984): Probleme des Wechsel-Tauch-Tests auf die Anlaufbeständigkeit von Edelmetall-Legierungen, Dtsch.zahnärztl.Z.,39,866-869
[52] Marx R.(1984): Breites Interesse an Legierungen, Zahnärztl.Mitt.,74,2862-2866
[53] Meiners H.(1980): Dentallegierungen, in Fortschritte der zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde, Hrsg.: Voß R., Meiners H.,Hanser,München,Wien,BandI

[54] Meiners H.(1984): Dentallegierungen, in Fortschritte der zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde, Hrsg.: Voß R., Meiners H.,Hanser,München,Wien,BandII
[55] Meiners H.(1984): Elektrische Erscheinungen an metallischen Füllungen, Zahnärtzl.Welt,93,38-47
[56] Meyer E.(1981): Gegenwärtige Standortbestimmung zur Eingliederung verschiedener Metalle in die Mundhöhle, Dtsch.zahnärztl.Z.,36,265-269
[57] Meyer J.M.(1977): Corrosion resistance of Ni-Cr-dental casting alloys,Corrosion Science,Vol17,971-982
[58] Moffa J.P.(1982): Biological effects of nickel-containing dental alloys, J.Amer.dent.Ass.Vol.104,501-504
[59] Monien H.(1963): über Korrosionsversuche an Edelmetall-legierungen in verdünnten gepufferten KCN-Lösungen bei verschiedenen pH-Werten, Werkstoffe und Korrosion,14,1029-1033
[60] Mueller H.J.(1983): The binding of corroded metallic ions to salivaria-type proteins, Biomaterials 4,66-72
[61] Müller K.(1985): Vier Jahre Erfahrungen mit EF-, NE-, NEM-Legierungen, Zahnärztl.Prax.,36,130-132
[62] Otto A., Caspar S., Hild W.(1974): Chemie Sekundarstufe II, Handwerk und Technik,Hamburg
[63] Popp W., Kaiser H., Kaesche H., Brämer W., Sperner F.: Elektochemical behavior of noble metal dental alloys in different artifical salvia solutions.
[64] Rettenberger J.(1978): Literaturstudie zur Frage der Toxizität von Nickel und Beryllium in Dentallegierungen, Wiss.Diss.,Mainz
[65] Rotgans J.(1983): Enzyme erhöhen die Schutzfunktion des Speichels, Zahnärztl.Mitt.,73,227-232
[66] Sauerwein E(1981): Zahnerhaltungskunde, Thieme,Stuttgart, New York,4.Aufl.
[67] Scheibe L.(1984): Erhebliche Einsparungen durch edelmetall-reduzierte Legierungen, Zahnärztl.Mitt.,74,118-120
[68] Shepard F.E., Moon P.C., Grant G.C., Fretwell L.D.(1983): Allergic contact stomatitis from a gold alloy-fixed partial denture, J.Amer.dent.Ass.106,198-199
[69] Silbernagl S., Despopulos A.(1979): Taschenatlas der Physiologie, Thieme,Stuttgart
[70] Speck K.M.: Corrosion behaviour of metals used in dentistry, National bureau of Standards, Washington D.C.20234
[71] Sperner F.(1981): Edelmetall-Dentallegierungen! Edelmetall-freie Dentallegierungen?, Dental-Labor,29,1861-1871

[72] Sperner F.(1982): über die edelmetallreduzierten Aufbrennkeramiklegierungen, Dental-Labor,30,1733-1735
[73] Spiechowiecz E., Glantz P.O., Axell T., Chmielewski W.(1984): Oral exposure to a nickel-containing dental alloy of persons with hypersensitive skin reactions to nickel, Contact Dermatitis 10,206-211
[74] Stegemann K.(1956): Korrosionserscheinungen an Dentallegierungen, TeilI, Untersuchungen an homogenen Edelmetalllegierungen, Dtsch.zahnärztl.Z.,11,391-409
[75] Verband deutscher Zahntechnikerinnungen(1985): Dentallabors nicht verantwortlich für Ausgabensteigerungen? Weniger Goldverbrauch 1982 durch vermehrten Einsatz von NEM, Zahnärztl.Praxis,36,85
[76] Wagner E.(1974): Korrosion an Dentallegierungen, in Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, Hrsg.Eichner K.,Hütig, Heidelberg,3.Aufl.
[77] Weber H., Fraker A.C.(1980): Anodisches Polarisationsverhalten von ungeglühten und mehrfach geglühten Ni-Cr-Legierungen, Dtsch.zahnärztl.Z.,35,942-946
[78] Weber H.(1981): Die Goldlegierung - ein unverzichtbares Material? Dental-Labor,29,915-919
[79] Weber H., Fraker A.C.(1981): REM-Untersuchungen an in vitro korrodierten Nickel-Chrom-Legierungen, Dtsch.zahnärztl.Z., 36,11-14
[80] Weber H.(1983): Kritische Wertung der unterschiedlichen Legierungstypen, in Medizinische und technologische Aspekte dentaler Alternativlegierungen, Hrsg.,Herber R.,Quintessenz, Berlin
[81] Weber H.(1984): Eine kritische Wertung der unterschiedlichen Legierungstypen, Zahnärztl.Mitt.,74,122-124
[82] Weber H., Sauer K.H.(1984): Zur Kohlenstoffaufnahme keramisch verblendbarer, palladiumhaltiger Legierungen beim Schmelzen im Graphit-Tiegel, Dtsch.zahnärztl.Z.,39,16-19
[83] Weber H.(1985): Zum Korrosionsverhalten dentaler Legierungen, Dtsch.zahnärztl.Z.,40,254-260
[84] Wiesenfeld D., Ferguson M.M., Forsyth A., MacDonald D.G.(1984): Allergy to dental gold, Oral.Surg.57,158-160
[85] Wright D.C., Gallant R,F., Spangberg L.(1982): Correlation of corrosion behavior and cytotoxitcity in Au-Cu-Ag-ternary alloys, J.Biomed.Mater.Res.,16,509-517
[86] Zitter H., Pitner P.(1983): Galvanische Korrosion von Dentallegierungen, Dtsch.zahnärztl.Z.,38,557-559

Persönliche Mitteilungen von

[87] Alldent-AG, Rugell/Lichtenstein vom 10.4.84 und 27.3.85
[88] Austenal Dental GmbH, Köln,vom 21.3.85,vormals Howmedica International Inc. vom 5.4.1984
[89] Bego, Bremen vom 12.4.84 und März 1985
[90] Degussa AG, Pforzheim vom 16.4.84 und 22.3.1985
[91] C.Hafner, Pforzheim vom 10.4.84
[92] Heraeus, Hanau vom April 1984 und vom 21.3.1985
[93] Ultratek Int.GmbH, Hamburg vom 27.4.1984 und 25.3.1985

Lebenslauf Reinhold Bischof

30.10.1955 geboren in Ehingen/Do.
15.06.1962 Eintritt in die Volksschule Ehingen
19.04.1966 Wechsel ins Gymnasium Ehingen
21.08.1972 Beginn der Ausbildung zum Chemielaboranten
20.06.1975 Abschluß der Lehre mit der Gesellenprüfung
01.08.1975 Eintritt ins Gymnasium (Oberstufe)
28.05.1978 Abschluß mit der allgemeinen Hochschulreife
01.03.1979 Antritt zum Zivilen Ersatzdienst
30.06.1980 Beendigung des Zivildienstes
15.10.1980 Beginn des Studiums der Zahnheilkunde in Tübingen
28.05.1986 Zahnärztliche Prüfung in Tübingen
04.06.1986 Approbation als Zahnarzt durch das Regierungspräsidium Stuttgart